

Aus der Orthopädischen Klinik der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Analyse der Endplattenkonturen der Lendenwirbelkörper im seitlichen Röntgenbild

Experimentelle Untersuchungen und Ergebnis-Anwendung
bei der Radiometrie der Intervertebralsräume
von 50 Präparaten

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
den Medizinischen Fachbereichen vorgelegt

von Toni Schütze
aus St. Ingbert

Mainz 1978

Aus der Orthopädischen Klinik der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Analyse der Endplattenkonturen der Lendenwirbelkörper
im seitlichen Röntgenbild

Experimentelle Untersuchungen und
Ergebnis-Anwendung bei der Radio-
metrie der Intervertebralräume
von 50 Präparaten



Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
den Medizinischen Fachbereichen vorgelegt

von Toni Schütze
aus St. Ingbert
Mainz 1978

Fachbereichsdekan : Professor Dr. Schweikert

1. Gutachter : Professor Dr. P. Otte

2. Gutachter : Professor Dr. M. Georgi



Inhaltsverzeichnis

1.	E I N L E I T U N G	S. 8
2.	M A T E R I A L U N D M E T H O D E	S. 14
2.1	Bestimmung der Abbildungsdifferenz	S. 15
2.2	Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen bei Schrägprojektion	S. 16
2.3	Verlauf der Endplatten- und Randleistenkontur am Wirbelmodell bei variabler Projektion	S. 17
2.4	Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen	S. 19
2.5	Statistische Auswertung	S. 26
3.	E R G E B N I S S E	S. 28
3.1	Die vom Plattenabstand abhängige Differenz der Abbildungsgröße an Stichproben aus dem Kollektiv bestimmt	S. 28
3.1.1	Meßstrecken zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz zwischen Leiche und Präparat	S. 28
3.1.2	Meßstrecken zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz zwischen Präparat und Sägeschnitt	S. 31
3.2	Der Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen am markierten Wirbelkörperpräparat	S. 33

3.3	Mit dem Modell erzielte Projektions- figuren	S. 36
3.4	Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen mit Hilfe des Sägeschnittes	S. 43
3.4.1	Konturen bei normal geformten Wirbelkörpern	S. 43
3.4.2	Konturen bei starker Konkavierung	S. 45
3.4.3	Unterschiedliche Stärke der Konturen	S. 46
3.4.4	Dorsale Höcker der Bogenwurzeln als Identifikationshilfe der Endplattenkonturen	S. 47
3.5	Statistische Auswertung	S. 49
3.5.1	Synopsis der Werte nach Männern und Frauen getrennt	S. 49
3.5.2	Häufigkeitsverteilung der vier Meßgrößen im gesamten Kollektiv	S. 54
3.5.2.1	Häufigkeitsverteilung der Diskusflächen	S. 54
3.5.2.2	Häufigkeitsverteilung der NORDIN-Indexzahlen	S. 55
3.5.2.3	Häufigkeitsverteilung der HURXTHAL-Indexzahlen	S. 56
3.5.2.4	Häufigkeitsverteilung der Hinterkantendistanzen	S. 57
3.5.3	Korrelation der Meßgrößen	S. 58
3.5.3.1	Korrelation der Meßgrößen mit dem Alter	S. 58
3.5.3.2	Korrelation der Meßwerte untereinander	S. 63

3.5.4	Untersuchung der Zwischenwirbelraumausdehnung unter Anwendung von statistischen Merkmalkombinationen	S. 71
3.5.4.1	Zusammenstellung der Diskusflächen, der NORDIN-Indices und der Hinterkantendistanzen für jeden einzelnen Fall nach statistischen Klassifikationen eingeteilt	S. 72
3.5.4.2	Untersuchung der Fälle aus dem Gesamtkollektiv mit der Gemeinsamkeit überdurchschnittlicher Meßwerte zur Ermittlung individueller Fälle mit pathologischen Merkmalkombinationen	S. 74
3.5.4.3	Untersuchung der Fälle aus dem Gesamtkollektiv mit der Gemeinsamkeit vergrößerter Meßwerte zur Ermittlung individueller Fälle mit pathologischen Merkmalkombinationen bei erleichterten Auswahlbedingungen	S. 77
4.	D I S K U S S I O N	S. 81
4.1	Die vom Plattenabstand abhängige Differenz der Abbildungsgröße	S. 81
4.1.1	Unterschiedliche Fokus-Objektdistanzen als Ursache der Abbildungsdifferenzen	S. 81
4.1.2	Präparationsbedingte Ursachen von Abbildungsveränderungen	S. 85
4.2	Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen am markierten Wirbelkörperpräparat	S. 87

4.2.1	Randleistenverlauf bei orthograder Projektion	S. 87
4.2.2	Verlauf der Konturen bei parallaktischer Darstellung am gekippten Wirbelkörper	S. 88
4.2.3	Identität der Binnenkontur mit der Endplattenkontur	S. 90
4.3	Die mit dem Modell erzielten Projektionsfiguren	S. 91
4.3.1	Orthograde Darstellung des Wirbelmodelles	S. 91
4.3.2	Parallaxe bei paralleler Objekt- und Filmebene	S. 91
4.4	Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen mit Hilfe des Sägeschnittes	S. 94
4.4.1	Vorkommen von Projektionsformen im vorliegenden Versuchsgut	S. 94
4.4.2	Prägnanz der Konturen	S. 96
4.4.3	Zwischenwirbelraumausdehnung bei parallaktischer Konturendarstellung	S. 97
4.5	Statistische Auswertung	S. 99
4.5.1	Korrelation der Meßwerte mit dem Alter	S. 99
4.5.1.1	Korrelation des NORDIN-Index mit dem Alter	S. 99
4.5.1.2	Korrelation der Hinterkantendistanz mit dem Alter	S. 100
4.5.1.3	Korrelation der Diskusfläche mit dem Alter	S. 100
4.5.1.4	Korrelation des HURXTHAL-Index mit dem Alter	S. 101

4.5.2	Korrelation der Meßwerte untereinander	S. 101
4.5.2.1	Korrelation des NORDIN-Index mit dem HURXTHAL-Index	S. 101
4.5.2.2	Korrelation des NORDIN-Index mit der Diskusfläche	S. 102
4.5.2.3	Korrelation des HURXTHAL-Index mit der Diskusfläche	S. 102
4.5.2.4	Korrelation des HURXTHAL-Index mit der Hinterkantendistanz	S. 104
4.5.2.5	Korrelation des NORDIN-Index mit der Hinterkantendistanz	S. 105
4.5.2.6	Korrelation der Diskusfläche mit der Hinterkantendistanz	S. 106
4.5.3	Anwendung von statistischen Merkmal- kombinationen zur differenzierten Untersuchung der Zwischenwirbelraum- ausdehnung im Einzelfall	S. 107
5.	Z U S A M M E N F A S S U N G	S. 111
6.	L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S	S. 114

1. E I N L E I T U N G

Die wichtigsten radiologischen Symptome zur Charakterisierung der Osteoporose der Lendenwirbelsäule sind einmal vermehrte Transparenz des Wirbelkörpers, vermehrte Strähigkeit der Spongiosabälkchen, hervorgerufen durch einen vermehrten Abbau der Querstrukturen der Spongiosa, vermehrte Rahmenstruktur des Wirbelkörpers und schließlich die Bikonkavität der Wirbelkörper, die in Extremfällen zum charakteristischen Bild des Fischwirbels führt.

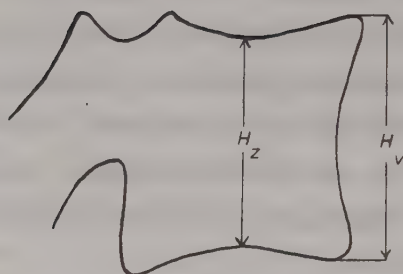
Die Schwierigkeiten, auf regulären Röntgenaufnahmen die Konkavierung der Wirbelkörperendplatten zu erkennen und gegenüber einer projektionsbedingten Kontur abzugrenzen, waren der Anlaß für diese Studie.

Über die Zusammenhänge zwischen Osteoporose und bikonkaver Eindellung der Wirbelkörper finden sich bei SCHMORL (1931)(14) einige Hinweise. Demnach beginnen die Veränderungen an den Spongiosabälkchen, die zunächst dünner werden, wobei die statisch weniger wichtigen Querverstrebungen verschwinden.

Diese Entwicklung kann durch eine kompensatorische Hypertrophie der verbleibenden Verstreibungen bis zu einem gewissen Grade ausgeglichen werden. Jedoch führt die Verminderung der Tragfähigkeit zu Veränderungen der äußeren Form der Wirbelkörper. Mitbeteiligt an dieser Entwicklung ist, neben der allgemeinen Belastung, der Ausdehnungsdruck des Gallertkernes auf die angrenzenden Wirbeloberflächen. Dieser Druck, der auf einen normalen Wirbel abgestimmt ist, wird für einen osteoporotischen allmählich zu groß. Die Folge ist, daß sich die Zwischenwirbelscheibe zunehmend gegen den anschließenden Wirbelkörper ausbuchtet. Diese Vorbuchtungen können fast bis zur Wirbelkörpermitte reichen, wodurch sich die Zwischenwirbelscheiben von oben und von unten her beinahe berühren.

Im Hinblick auf die Schwierigkeit der Beurteilung von Osteoporosen anhand von kaum objektivierbaren Kriterien lag es nahe, die Konkavierung der Wirbelkörper als Möglichkeit der quantitativen Auswertung in Betracht zu ziehen. Die ersten Vorschläge stammten von BARNETT und NORDIN (1960, 1961) (1,2). Neben zwei peripheren Osteoporoseformeln bestimmten sie den Wirbelsäulenindex ("lumbar spine score"). Er drückt das Verhältnis der Höhe des Wirbelkörpers im Zentrum zur Höhe der Wirbelkörpervorderkante aus und ist ein Maß für die Konkavierung des Wirbelkörpers. Der Normalwert wurde von BARNETT und NORDIN auf 80 % festgelegt, Werte unter 80 % werden als spinale Osteoporose eingestuft.

Um die Genauigkeit der Abmessungen zu vergrößern, wurden in ausgewählten Fällen, zum Beispiel bei Skoliose oder Doppelkonturen der Endplatten, Tomogramme der seitlichen Lendenwirbelsäule verwendet.



H_z : Wirbelkörperzentrumshöhe

H_v : Wirbelkörpervorderhöhe

$$\frac{H_z}{H_v} \cdot 100 = \text{lumbar spine score}$$

Abb. 1: Darstellung der Strecken zur Bestimmung des NORDIN-Index

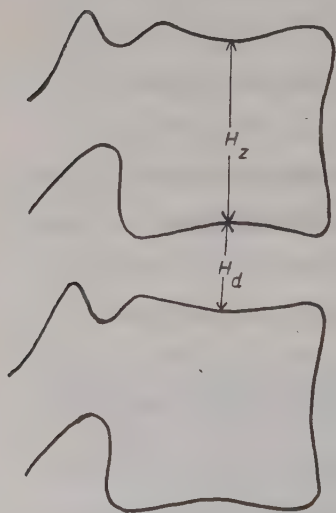
HURXTHAL (1968) (5) setzte die Bemühungen zur Ermittlung des jeweiligen Konturenverlaufes der Deck- und Schlußplatten fort. Er nahm ebenfalls bei seinen Untersuchungen in einigen speziellen Fällen Schichtaufnahmen zu Hilfe, um die Meßpunkte an den Röntgenbildern der Wirbelsäule genauer definieren zu können. An 20 seitlichen Röntgenbildern der Wirbelsäule bestimmte er neben der vorderen und hinteren

Wirbelkörperhöhe die Höhe des Zwischenwirbelraumes, die Höhe des Wirbelkörpers im Zentrum, die Vorderkantendistanz und Hinterkantendistanz. Neben dem Vergleich der vorderen Wirbelkörperkompression zu einem Osteoporosefall schildert er folgende Variationen im röntgenologischen Erscheinungsbild des Wirbelkörperandes:

1. Kaum oder überhaupt nicht wahrnehmbare Randleisten in gut mineralisierten Wirbeln.
2. Als Ergebnis der Übereinanderlagerung der Ränder erscheinen die unteren und oberen Ränder als eine dichtere Linie im Vergleich zur röntgenologischen Dichte des Wirbelkörpers.
3. Nur eine Randleiste ist entweder oben oder unten am Wirbelkörper zu sehen und zwei Linien auf der jeweils gegenüberliegenden Seite desselben Wirbels, weil der zentrale Röntgenstrahl nicht genau zentriert ist. In einem solchen Fall ist die einzelne Linie dichter als Ergebnis der Übereinanderlagerung von zwei Linien; die anderen zwei Linien stellen zwei Ränder dar, eine der Linien ist dichter, weil sie denselben Wirbelkörper überschneidet.
4. Vier Linien sind zu sehen, zwei oben und zwei unten am Wirbel, weil der Zentralstrahl außerhalb der Mitte liegt.
5. Sechs Linien sind zu sehen, drei oben und drei unten, was sehr selten vorkommt, meistens nur in Stereobildern. Diese dritte Linie kann dann die horizontale Kortikalis darstellen.

6. Sind vier Linien oben und unten bei einem nicht genau zentrierten Wirbel zu sehen, so muß an die Möglichkeit eines doppelt konturierten Wirbels gedacht werden, wie SCHMORL und JUNGHANNS ihn beschrieben haben.

SIEGELMAN (15) schlug 1969 ein neues Maß für die radiometrische Bestimmung des Osteoporosegrades vor. Er stützt sich dabei auf Untersuchungen und Meßergebnisse von HURXTHAL und bildet einen Quotienten aus dem Verhältnis der Diskushöhe zur Wirbelkörperzentrumshöhe. Als pathologischen Grenzwert gab er 0,35 oder 35 % an.



H_d : Diskushöhe

H_z : Wirbelkörperzentrumshöhe

$$\frac{H_d}{H_z} = 0,35 \text{ oder } 35 \%$$

Abb. 2: Darstellung der Strecken zur Bestimmung des HURXTHAL-Index

OTTE veranlaßte GOIHL, WIETEK und JUNG (1971,1974) (4,16,7) die Indices von NORDIN und HURXTHAL bei verschiedenen Kollektiven anzuwenden. Bei diesen Untersuchungen ergab sich die Schwierigkeit, geeignete Röntgenbilder mit verwertbaren, eindeutigen Meßpunkten zu finden. Das Problem lag in erster Linie darin, die Konturen der Deck- und Schlußplatten, speziell aber den für die zentrale Wirbelkörperhöhe maßgebenden Punkt zu ermitteln.

Es schien deshalb angezeigt, das Problem experimentell, beziehungsweise an Präparaten nochmals aufzugreifen. In der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, an 50 Röntgenpräparaten die Identifizierung der Konturen durch die Gegenüberstellung von Ganzpräparaten und Sägeschnitten zu objektivieren.

Bei dieser Gelegenheit sollten auch die radiometrischen Parameter der Osteoporose, die Indices von NORDIN und HURXTHAL, sowie die Flächenausdehnung des Zwischenwirbelraumes überprüft werden.

2. MATERIAL UND METHODE

Im Pathologischen Institut der Universitätsklinik Mainz wurden innerhalb eines Zeitraumes von einem Jahr aus 36 männlichen und 14 weiblichen Leichen Wirbelsäulenteilstücke aus dem Bereich $L_1 - S_3$ herauspräpariert. Diese Teilstücke wurden bis maximal zwei Stunden nach der Präparation von lateral geröntgt. Der Film-Fokus-Abstand betrug dabei 1,10 m bei 55 KV und automatischer Belichtung. Der Zentralstrahl wurde über L_4 postiert. Gleich anschließend wurde mit einer elektrischen Bandsäge eine 10 mm dicke Scheibe aus der Mitte jedes Präparates in der Sagittalebene herausgesägt. Von dieser Scheibe wurde ebenfalls sofort ein Röntgenbild angefertigt. Der Fokusabstand betrug dabei 1,10 m bei 55 KV und automatischer Belichtung.

Mit diesen Röntgenbildern soll nach Möglichkeit versucht werden, zur Ermittlung der präzisen Meßpunkte, gut erkennbare Konturen der Deck- und Schlußplatten von den Ganzpräparaten zu erhalten, beziehungsweise diese Linien mit Hilfe der in den Sägeschnittaufnahmen deutlich erkennbaren Konturen zu identifizieren.

Da in sämtlichen Röntgenaufnahmen die Lendenwirbelsäulen von lateral aufgenommen worden sind, werden im folgenden die Begrenzungslinien der Deck- und Schlußplatten in der horizontalen Ebene als Randleistenkonturen bezeichnet, während die Begrenzungslinie in der Mitte der Deck- und Schlußplatten in der sagittalen Ebene Endplattenkontur genannt wird.

Die 50 zufällig ausgesuchten Präparate umfassen 36 männliche und 14 weibliche Fälle.

2.1 Bestimmung der Abbildungsdifferenz

Um festzustellen, ob eine Abbildungsdifferenz von der Wirbelsäule in situ zu dem Ganzpräparat auftritt, wurden bei 5 Leichen die Lendenwirbelsäulen zunächst in situ geröntgt (Fokusabstand 1,10 m , 55 KV), bevor das Wirbelsäulenteilstück herauspräpariert wurde.

Zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz wurden an den Röntgenbildern der Leichen die Wirbelkörperzentrumshöhe von L_4 und der kleinste sagittale Durchmesser von L_4 in cm gemessen und mit denselben Strecken auf den Röntgenbildern der Ganzpräparate verglichen.

Die Wirbelkörperzentrumshöhe bezeichnet die kürzeste Strecke zwischen der Deck- und Schlußplatte im Zentrum des Wirbelkörpers. Der kleinste sagittale Durchmesser ist definiert als kürzeste Entfernung zwischen der ventralen und dorsalen Wirbelkörperwand in der Mitte des Wirbelkörpers.

Zur Ermittlung des Abbildungsunterschiedes zwischen Ganzpräparat und Sägeschnitt wurde an den Röntgenbildern von 5 beliebigen Präparaten die Wirbelkörperzentrumshöhe und der kleinste sagittale Durchmesser von L_4 in cm gemessen und mit denselben Strecken bei L_4 auf den Aufnahmen der Sägeschnitte verglichen.

2.2 Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen bei Schrägprojektion

Bei der Abbildung der Wirbelsäule kann bei nicht senkrechter Zentralprojektion eine Verzeichnung des abzubildenden Objektes auf dem Film auftreten. Ein solcher Fall, bei dem der Zentralstrahl, also die Verbindungslinie Fokus-Bildmitte nicht senkrecht auf der Objektebene steht, wird im Experiment am einzelnen Wirbelkörper dargestellt.

Zur Klärung des Verlaufes der Randleisten- und der Deck- und Schlußplattenkonturen wurde ein dazu speziell präparierter Wirbelkörper sowohl in orthograder als auch gekippter Position geröntgt. Der Verlauf der kaudalen und kranialen Randleisten- und der Verlauf der beiden Endplattenkonturen wurden mit Draht, der aufgeklebt war, besonders gekennzeichnet.

In einem zweiten Beispiel wurden an demselben Wirbel nur die Randleisten mit Draht gekennzeichnet, während der tiefste Punkt der Endplatten kranial und kaudal mit einem Stecknadelkopf markiert wurde.

Es soll damit festgestellt werden, ob im Röntgenbild eine Linie zu sehen ist, die den Verlauf der Endplatte beschreibt und ob durch diese Kontur der tiefste Punkt der Endplatte zur Bestimmung der Wirbelkörperzentrumshöhe gekennzeichnet ist.

2.3 Verlauf der Endplatten- und Randleistenkontur am Wirbelmodell bei variabler Projektion

Eine weitere Versuchsanordnung wurde zur Beurteilung der Verzeichnung der Umrisslinien eines Wirbelkörpers bei verschiedenen Projektionen durchgeführt. Man bezeichnet dabei

die Verzeichnung des Schattenbildes als Folge einer seitlichen Verschiebung des Objektes bei feststehender Lichtquelle als Parallaxe.

Dies trifft bei der Wirbelsäule in der Form zu, daß eine Anzahl von ähnlich geformten Knochenkörpern aneinandergereiht ist und, bei einer Zentrierung auf einen bestimmten Wirbelkörper, die in den seitlichen Regionen des Strahlenkegels liegenden Wirbelkörper eine Verzerrung ihrer ursprünglichen Gestalt erfahren. Dabei gilt der Grundsatz, daß der filmnahe Punkt weniger verschoben wird als der filmferne.

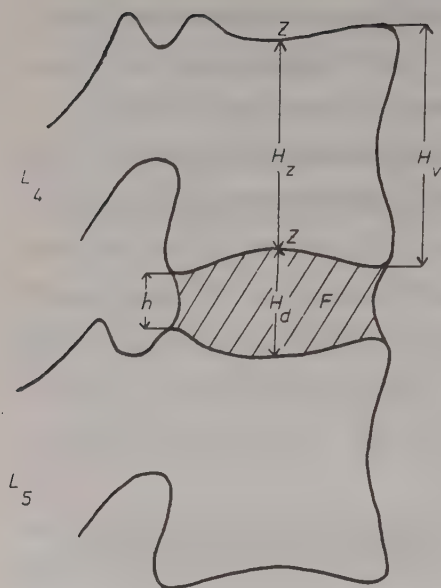
Zur Beurteilung der Verzeichnung der Umrißlinien eines Wirbels wurde aus Draht das Modell eines Wirbelkörpers gebogen. Die Endplattenkonturen waren ebenfalls mit Draht dargestellt. Es wurden zwei Zapfen auf einer oberen und unteren Randleistenhälfte angebracht. Diese Kennzeichen markieren immer den plattenfernen Teil der Kontur. Die Funktion der Röntgenröhre übernahm ein Diaprojektor. Der Drahtwirbelkörper wurde zunächst in zentraler Projektion abgebildet und fotografiert. Die Entfernung Lampe-Objekt betrug 2 m.

Zur Abbildung im seitlichen Bereich des Strahlenkegels wurde der Drahtwirbel bei gleicher Lampe-Objekt-Distanz in der Vertikalen nach kranial oder kaudal versetzt. Dieser Versuch wurde bei einer auf 1 m verkürzten Lampe-Objekt-Distanz wiederholt und fotografiert.

Schließlich wurde das Schattenbild des Wirbelmodells bei einer Lampe-Objekt-Distanz von 2 m hinter der Mattscheibe in kranial oder kaudal versetzter Position fotografiert, sodaß das Wirbelkörpermodell von der Mattscheibe verdeckt war und als Schattenbild alleine fotografiert werden konnte.

2.4 Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen

Mit Hilfe eines durchsichtigen Lineals und eines Meßzirkels wurden folgende Strecken in mm auf den Röntgenbildern der Präparate und der Sägeschnitte an L_{4/5} gemessen: die Wirbelkörperzentrumshöhe, die Wirbelkörperpervorderhöhe, die hintere Wirbelkörperkantendistanz und die Diskushöhe (Abb.3, Seite 20).



H_z : Wirbelkörperzentrumshöhe

H_v : Wirbelkörpervorderhöhe

H_d : Diskushöhe

h : hintere
Wirbelkörperkantendistanz

F : Fläche des Diskus

Z : Zentrumsunkt

Abb. 3 : Schematische Darstellung von L_4 und L_5
mit den eingezeichneten vermessenen
Strecken und der Diskusfläche

Die Fläche des Zwischenwirbelraumes $L_{4/5}$ wurde vom Röntgenbild des Präparates auf transparentes Papier übertragen unter Berücksichtigung des mit Hilfe der Sägeschnitte diagnostizierten Verlaufes der Wirbelkörperendplatten. Die aufgezeichnete Fläche wurde auf dickeres Papier übertragen und ausgeschnitten.

Nach 30 Minuten Lagerung in 70°C Warmluft wurde das Gewicht der ausgeschnittenen Flächen in mg gewogen. Da in den vorliegenden Untersuchungen die Möglichkeit bestand, die Umrisse der Fläche an Sagittalschnitten zu verfolgen, erschien diese Methode zur Flächenbestimmung günstiger als die geometrische Aufteilung der Fläche in ein Trapez und zwei Kreissektoren.

Die hintere Wirbelkörperkantendistanz h wurde zwischen L_4 und L_5 am Röntgenbild des Präparates in cm gemessen.

Der NORDIN-Index wurde aus dem Quotienten $\frac{H_z}{H_v}$ gebildet, und ist ein Maß für die Konkavierung des Wirbelkörpers. Er wurde an den Röntgenbildern des Sägeschnittes an L_4 bestimmt, da hier die objektive Wirbelkörperhöhe im Zentrum repräsentiert wird.

Der HURXTHAL-Index wurde aus dem Quotienten $\frac{H_d}{H_z}$ berechnet und gibt das Größenverhältnis von Diskushöhe zur Wirbelkörperzentrumshöhe an. H_d wurde am Diskus $L_{4/5}$ und H_z an L_4 auf den Röntgenbildern der Präparate gemessen.

Die Diskushöhe H_d konnte nicht am Röntgenbild des Sägeschnittes gemessen werden, da eine Beeinflussung des Meßergebnisses durch eine Kompression oder Distraction des bindegewebigen Zwischenwirbelraumes beim Zersägen des Präparates ausgeschlossen werden soll.

Der Verlauf der Deck- und Schlußplattenkontur zur Bestimmung der Wirbelkörperzentrumshöhe war durch das Vorhandensein multipler Konturen am Röntgenbild des Präparates nicht immer eindeutig zu definieren. Es wurde so verfahren, daß zur Bestimmung der Strecken die Kombination beider Röntgenbilder eines Falles zur Anwendung kam, indem die Wirbel L_4 in beiden Aufnahmen übereinandergelegt und zur Deckung gebracht wurden (Abb.6a und b, Seite 24 und 25). Da die Endplattenkontur im Röntgenbild des Sägeschnittes exakt abgebildet ist, können im Röntgenbild des Präparates für den Fall, daß mehrere Verlaufslinien zur Auswahl stehen, die korrespondierenden Konturen der Endplatten identifiziert werden. Entscheidend hierfür war der deckungsgleiche oder im geringfügigen Abstand identische Verlauf beider Linien, die durch leichtes Verschieben der Sägeschnittaufnahme auf dem Röntgenbild des Präparates in Übereinstimmung gebracht wurden.

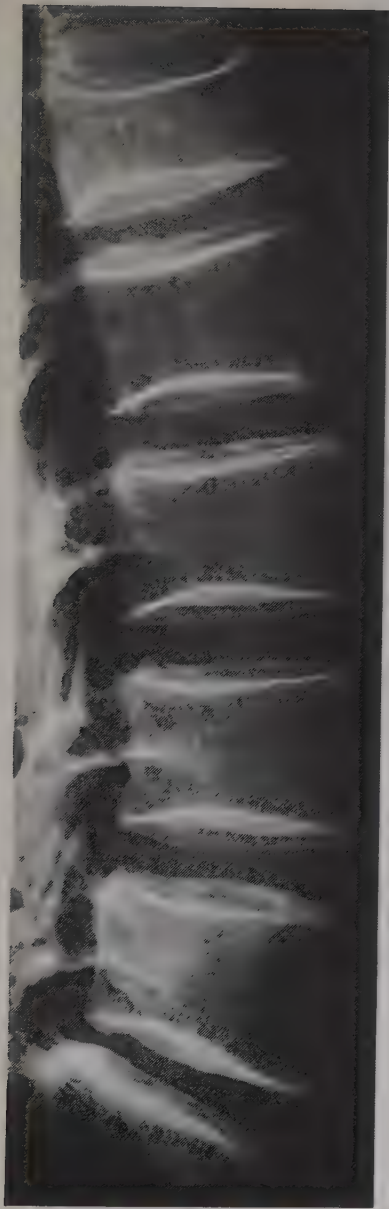


Abb. 4: Projektion eines
Wirbelsäulenpräparates von
lateral

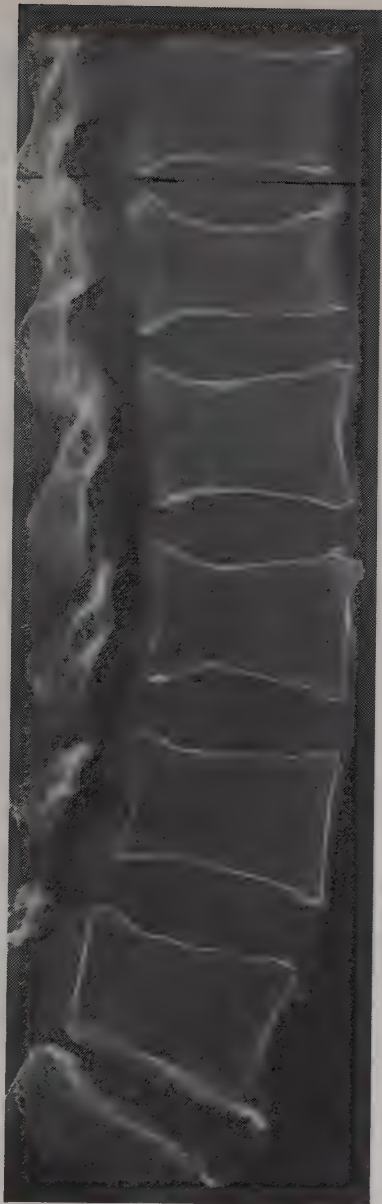


Abb. 5: Aufnahme des
Schnittes aus der Median-
ebene desselben Präparates

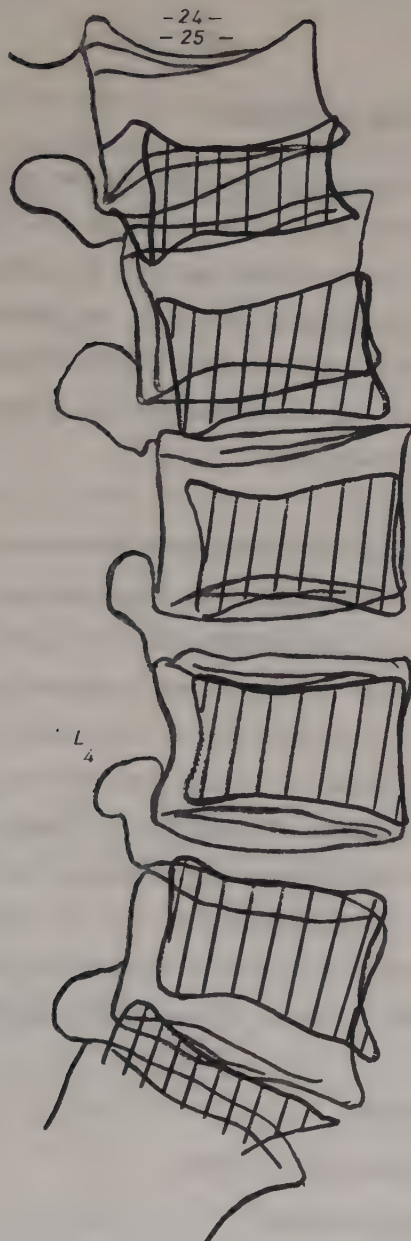


Abb. 6a und b : Darstellung der Superposition des
Sagittalschnittes (schraffiert) mit dem Präparat
am Beispiel des Wirbelkörpers L_4

2.5 Statistische Auswertung

Mit Hilfe statistischer Methoden wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Indices von NORDIN und HURXTHAL, der Diskusfläche und der Hinterkantendistanz ermittelt. Zusammenhänge zwischen den Meßwerten sollten durch Berechnung der Korrelationen der Meßergebnisse gegen das Alter und der Meßergebnisse untereinander herausgefunden werden.

Eine Untersuchung des Zwischenwirbelraumes sollte durch die kombinierte Anwendung der Hinterkantendistanz, der Diskusfläche und des NORDIN-Index erfolgen. Die beiden Möglichkeiten der Zwischenwirbelraumerweiterung, einmal die von OTTE (1971,1972) (9,10) vermutete Expansion mit vergrößertem Diskus vor einer Konkavierung der Deckplatten, zum anderen die Erweiterung durch Deckplattenkonkavierung sollte nach statistischen Kriterien ermittelt werden. Diejenigen Fälle, die für eine Zwischenwirbelraumerweiterung ohne Konkavierung des Wirbelkörpers in Frage kommen, müssen folgende Bedingungen erfüllen:

Fläche	> s
Hinterkantendistanz	> s
NORDIN-Index	> s

Die statistischen Klassifikationen, aufgestellt zur Einstufung einer Zwischenwirbelraumerweiterung durch Deckplatteneinwölbung, lauten folgendermaßen:

Fläche	$> s$
Hinterkantendistanz	$< s$
NORDIN-Index	$< s$

Falls kein Fall von Liftung vorkommt, werden die Bedingungen auf die halbe Standardabweichung ermäßigt.

3. E R G E B N I S S E

Die Darstellung der Ergebnisse gliedert sich in fünf Abschnitte. Im einzelnen handelt es sich um:

1. die vom Plattenabstand abhängige Differenz der Abbildungsgröße
2. den Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen am markierten Wirbelkörperpräparat
3. die mit dem Modell erzielten Projektionsfiguren
4. die Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen mit Hilfe des Sägeschnittes und
5. die statistische Auswertung

3.1 Die vom Plattenabstand abhängige Differenz der Abbildungsgröße an Stichproben aus dem Kollektiv bestimmt

3.1.1 Meßstrecken zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz zwischen Leiche und Präparat: In der Abbildung 7 sind die Meßstrecken dargestellt, die zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz zwischen Leiche und Ganzpräparat gemessen wurden.



Wirbelkörperzentrumshöhe von L_4



Kleinster sagittaler Durchmesser
von L_4

Abb.: 7 Die zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz
zwischen Leiche und Ganzpräparat gemessenen
Strecken

Die Vergleichsmessungen der Wirbelkörperzentrumshöhe von L_4 der Wirbelsäule in situ mit L_4 am Ganzpräparat ergaben eine mittlere Differenz von 0,31 cm zuungunsten der Präparate.

Eine zweite Vergleichsmessung zwischen Leiche und Ganzpräparat am sagittalen Durchmesser von L_4 ergab eine mittlere Differenz von 0,35 cm zuungunsten der Ganzpräparate.

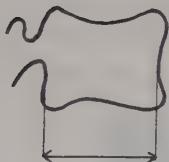
Rö.- Bild Nr.	Zentrumshöhe L_4			Sag. Durchmesser L_4		
	a) Leiche	b) Präp.	Δ_{ab}	a) Leiche	b) Präp.	Δ_{ab}
1	3,4	3,1	0,3	4,0	3,45	0,55
2	3,45	3,1	0,35	3,5	3,25	0,25
3	3,2	2,9	0,3	3,75	3,4	0,35
4	3,7	3,3	0,4	4,3	4,1	0,2
5	3,4	3,2	0,2	4,4	4,0	0,4
Mittel- wert	3,43	3,12	0,31	3,99	3,64	0,35

Tab.: 1 Abbildungsdifferenzen der Wirbelkörperzentrums-
höhen und der sagittalen Durchmesser an Röntgen-
bildern von Leichen und Ganzkörperpräparaten
(Meßwerte in cm).

3.1.2 Meßstrecken zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz zwischen Präparat und Sägeschnitt: In der Abbildung 8 sind die Meßstrecken dargestellt, die zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz zwischen Präparat und Sägeschnitt gemessen werden.



Wirbelkörperzentrumshöhe von L_4



Kleinstes sagittales Durchmesser
von L_4

Abb.: 8 Die zur Bestimmung der Abbildungsdifferenz zwischen Ganzpräparat und Sägeschnitt gemessenen Strecken

Die Vergleichsmessungen der Wirbelkörperzentrumshöhe von L_4 am Präparat und Sägeschnitt ergaben eine mittlere Differenz von 0,24 cm zuungunsten der Sägeschnitte.

Eine zweite Vergleichsmessung zwischen Präparat und Sägeschnitt am sagittalen Durchmesser von L_4 ergab eine mittlere Differenz von 0,28 cm zuungunsten der Sägeschnitte.

Rö.- Bild Nr.	Zentrumshöhe L_4			Sag. Durchmesser L_4		
	a)Präp.	b)Säge- schnitt	Δ a_b	a)Präp.	b)Säge- schnitt	Δ a_b
45	2,6	2,4	0,2	3,5	2,95	0,55
46	2,9	2,6	0,3	3,5	3,2	0,3
47	2,7	2,45	0,25	3,3	3,15	0,15
48	2,4	2,15	0,25	3,2	3,0	0,2
49	2,5	2,3	0,2	2,7	2,5	0,2
Mittel- wert	2,62	2,38	0,24	3,24	2,96	0,28

Tab.: 2 Abbildungsdifferenzen der Wirbelkörperzentrumshöhen und der sagittalen Durchmesser an Röntgenbildern von Ganzpräparaten und Sägeschnitten (Messwerte in cm).

Die Anwendbarkeit der ermittelten Abbildungsdifferenzen beschränkt sich auf die Meßgrößen Hinterkantendistanz und Diskusfläche. Beim Vergleich mit Meßergebnissen der Wirbelsäule in situ sind die in Tabelle 1 und 2 ermittelten Abbildungsdifferenzen zu berücksichtigen. Der WURDEN-Index und NURTHAL-Index werden hiervon nicht betroffen, da es sich um Verhältniszahlen handelt.

3.2 Der Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen am markierten Wirbelkörperpräparat

In Abbildung 9 sind die Endplattenkonturen des dazu speziell präparierten Wirbelkörpers bei orthograder Darstellung als gut sichtbare Röntgenkontur neben der strichförmigen Projektion der Randleiste zu erkennen. Der tiefste Punkt der Endplatten, wichtig als Referenz zur Messung der Wirbelkörperzentrumshöhe, kann an der kaudalen Endplatte leicht identifiziert werden. Bei der gering eingedellten Deckplatte überlagern sich die beiden Randleistenhälften mit der Endplattenkontur.

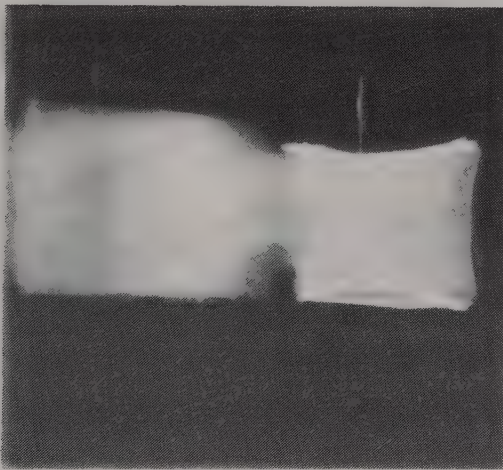


Abb. 9: Markiertes Wirbelkörperpräparat in orthograder Position

Dies trifft nicht mehr zu, sobald der Wirbelkörper in gekippter Position abgebildet wird (Abb. 10).

Die beiden mit einem Draht markierten Endplattenkonturen liegen nun mit ihrem tiefsten Punkt, nennen wir ihn Zentrumsunkt, in der Mitte der elliptisch dargestellten Randleisten.

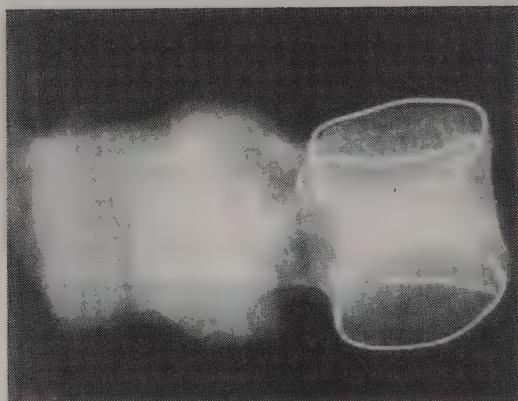


Abb. 10: Markiertes Wirbelkörperpräparat, gleiches Präparat wie bei Abbildung 9, in gekippter Position

In Abbildung 11 ist die kaudale Endplattenkontur als gut sichtbare, röntgenpositive, am nächsten zur Wirbelkörpermitte liegende Kontur zu erkennen, obwohl sie nicht mit Draht markiert ist, sondern der tiefste Punkt mit dem Stecknadelkopf gekennzeichnet ist. Bei der kranialen Endplatte überlagert sich die Deckplattenkontur mit der Kontur einer Randleistenhälfte.

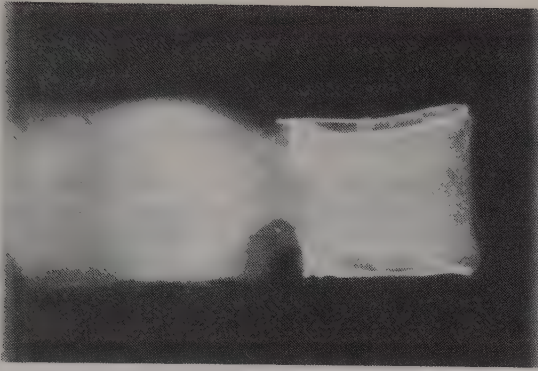


Abb.: 11 Markiertes Wirbelkörperpräparat, Darstellung wie in Abbildung 9, jedoch mit Markierung des tiefsten Punktes der Endplatten mit einem Stecknadelkopf

Das Experiment zeigt folgendes:

1. Die Außenkonturen des Zylinders decken sich bei orthograder Darstellung.

Die Binnenkontur ist in den Wirbelkörper hineinprojiziert. Sie repräsentiert die Endplatte, auf eine Linie reduziert.

2. Bei parallaktischer Darstellung korrespondieren die bikonkaven Linien ($\curvearrowright$) miteinander und repräsentieren die Endplattenkonturen, im Unterschied zu den konvex-konkaven ($\frown$) oder konkav-konvexen ($\smile$), die die Außenkonturen des Zylinders darstellen.

3. Die Endplattenkonturen sind in orthograder Projektion auch ohne spezielle Markierung im Röntgenbild zu erkennen.

3.3 Mit dem Modell erzielte Projektionsfiguren

Bei zentraler Projektion von lateral aus 2 m Entfernung entsteht von dem Wirbelmodell folgendes Schattenbild bei orthograder Projektion (Abb. 12): die obere und untere Randleiste sind als strichförmige Projektion zu sehen, kranial und kaudal jeweils die konvexe beziehungsweise die konkave Endplattenkontur.

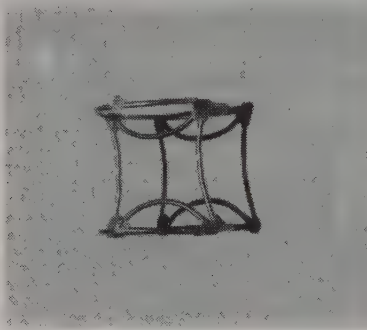


Abb. 12: Das Wirbelmodell aus Draht mit Schattenbild bei orthograder Projektion

Bei kontinuierlicher vertikaler Verschiebung aus der orthograden Position nach kranial wird das Abbild verzeichnet dargestellt (Abb. 13a/b).

In einer ersten Phase mit geringer Verzeichnung bildet der plattenferne Teil der oberen Randleiste die obere Schattenlinie, während die plattennahe Randleiste zwischen plattenferner Leiste und Endplattenkontur liegt.

Der plattenferne Teil der unteren Randleiste liegt zwischen plattennahem Teil und der Endplattenkontur (Abb. 13a).

In einer zweiten Phase mit fortgesetzter Verschiebung bildet der plattenferne Teil der oberen Randleiste die obere Schattenlinie, und die plattennahe obere Leiste überlagert sich mit der Endplattenkontur. Die plattenferne untere Randleiste überlagert sich mit der Kontur und die untere plattennahe Leistenhälfte bildet die unterste Schattenlinie (Abb. 13b).

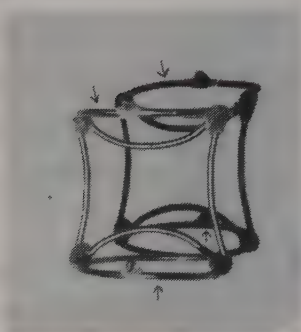


Abb. 13a/b: Das Wirbelmodell bei vertikaler Verschiebung nach kranial:

a) 1. Phase: Die mit einem Zapfen markierte plattenferne Randleiste bildet die obere Schattenlinie. Korrespondierende Linien sind mit einem Pfeil markiert.

b) 2. Phase: Die markierte plattenferne Randleiste bildet die obere Schattenlinie. Kontur und plattennahe Randleiste überlagern sich.

Ein genau reziprokes Erscheinungsbild ergibt sich bei vertikaler Versetzung nach kaudal (Abb. 14). Jetzt bildet die obere plattennahe Randleistenhälfte die obere Schattenlinie, während die obere plattenferne Randleistenhälfte zwischen Endplattenkontur und oberer plattennaher Randleiste abgebildet wird. Die untere plattennahe Randleiste wird zwischen Endplattenkontur und plattennaher Randleistenhälfte abgebildet, während die plattenferne Randleiste die untere Schattenlinie bildet.



Abb. 14: Wirbelmodell nach vertikaler Verschiebung nach kaudal: Die mit einem Zapfen markierte kraniale, plattenferne Randleiste liegt zwischen Endplattenkontur und plattennaher Randleiste.

Um die Konturenüberdeckung wie in Abbildung 13a/b zu erzielen, mußte das Wirbelmodell bei einer Lampe-Objekt-Distanz von 2 m um 0,65 m verschoben werden. Bei einer verkürzten Lampe-Objekt-Distanz von 1 m trat diese Überlagerung schon nach einer vertikalen Versetzungsdistanz von 0,36 m ein. Eine verkürzte Lampe-Objekt-Distanz verursacht also eine frühere Überlagerung der Konturen bei vertikaler Verschiebung.

Die folgenden Projektionen wurden bei einer Lampe-Objekt-Distanz von 2 m hinter der Mattscheibe aufgenommen (Abb. 15 und 16). Dies stellt am Beispiel einer Lichtprojektion die Beobachtungsposition dar, die auch beim Betrachten eines Röntgenbildes eingenommen wird.

In einer ersten Phase mit geringer Verschiebung nach kranial bildet die plattenferne Randleiste die obere Schattenlinie. Kaudal liegt die plattenferne Randleiste zwischen Endplattenkontur und plattennaher Randleiste (Abb. 15). Da beim Schattenbild, im Gegensatz zur Fotografie, die räumliche Perspektive nicht auf Anhieb zu erkennen ist, wurde ein perspektivisches Bild desselben Wirbelmodells wie in Abbildung 15 gezeichnet (Abb. 15a). Aus der Position hinter der Mattscheibe blickt man auf die Deckplatte.

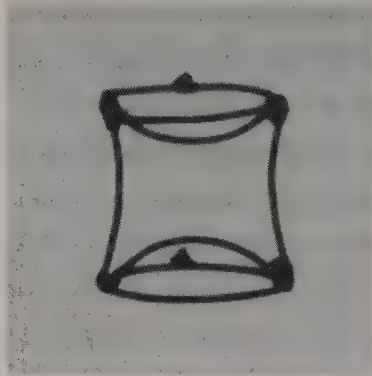


Abb. 15: Schattenbild des Wirbelmodells aus Draht bei vertikaler Verschiebung nach kranial hinter der Mattscheibe aufgenommen (1. Phase).



Abb. 15a: Perspektivisches Bild desselben Wirbelmodells. Man blickt auf die Deckplatte, deren plattenferne Randleiste markiert ist.

In einer zweiten Phase mit stärkerer Verschiebung nach kranial ist die obere plattennahe Randleiste mit der Endplattenkontur überdeckt, die untere Kontur überlagert sich mit der plattenfernen Randleiste (Abb. 16). Das perspektivische Bild desselben Wirbelmodells zeigt Abbildung 16a. Man blickt auf die Deckplatte.

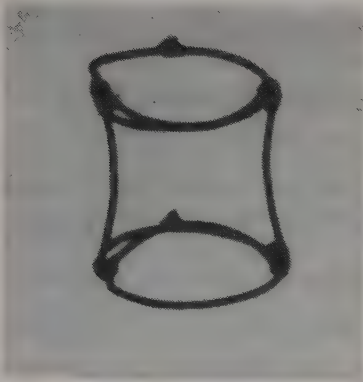


Abb. 16: Schattenbild desselben Wirbelmodells wie in Abb. 15 bei noch stärkerer vertikaler Verschiebung nach kranial, hinter der Mattscheibe aufgenommen (2.Phase).



Abb. 16a: Perspektivisches Bild desselben Wirbelmodells. Man blickt auf die Deckplatte, deren plattenferne Randleiste markiert ist.

Die bisher erwähnten Abbildungsverzeichnungen wirken sich in der Sagittalebene in der Längsrichtung aus. Verzeichnungen in der Vertikalebene, die die Flächenbestimmung betreffen können, entstehen durch eine Rotation des Präparates um die Längsachse. Es sind also beide Objektebenen senkrecht zum Zentralstrahl zu setzen.

Die Abbildungsreihe ergibt:

1. Mit zunehmender Entfernung vom Zentralstrahl verändert sich die Lage der Konturen absolut und relativ zueinander.
2. Eine allgemeingültige Gesetzmäßigkeit für die Zuordnung der Linien ergibt sich nicht.

Im Besonderen verändert sich die Position der Binnenkonturen zu den Außenkonturen bei den zwei Bewegungsrichtungen, die sich naturgemäß spiegelbildlich verhalten, für den Fall der Vertikalverschiebung nach kranial folgendermaßen:

- a) Ausgangsposition der Endplattenkonturen in Binnenlage
- b) Überlagerung kranial mit plattennaher, kaudal mit plattenferner Randleiste
- c) Schlußposition zwischen den elliptisch dargestellten Randleistenkonturen

3. Zu der Variablen der Verschiebung vom Zentralstrahl kommt eine Abhängigkeit vom Grad der Konkavierung.

Es ergibt sich, daß eine zusätzliche Variable durch den Grad der Konkavierung zu berücksichtigen ist.

Je ausgeprägter die Konkavierung, desto später die Überlagerung mit plattennaher und plattenferner Randleistenkontur.

3.4 Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen mit Hilfe des Sägeschnittes

3.4.1 Konturen bei normal geformten Wirbelkörpern:

Abbildung 17 gibt Auskunft über den Verlauf der repräsentativen Konturen, die mit Hilfe des Sägeschnittes als Verlaufslinien der Deck- und Schlußplatten im Wirbelkörperzentrum an den Aufnahmen der Präparate ermittelt wurden. Es ergaben sich drei nach Art des Konturenverlaufs unterschiedliche Projektionsmuster, die in Abbildung 17 als Situation 1, 2 und 3 beschrieben sind.

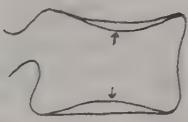
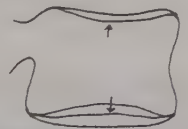
Projektionsbedingte Variationen der Wirbeldarstellung	Position der Endplattenkontur in Beziehung zu den Randleisten
Situation 1 	Darstellung der Endplattenkontur im Wirbelkörper ohne Überschneidung der Randleisten
Situation 2 	Darstellung einer Endplattenkontur im Wirbelkörper und der anderen innerhalb der Randleistenellipse
Situation 3 	Darstellung beider Endplattenkonturen innerhalb der Randleistenellipsen

Abb. 17: Die bei der Untersuchung der Lendenwirbelsäulenpräparate vorkommenden drei verschiedenen Projektionsmuster

Die Häufigkeitsverteilung der Projektionsmuster für die Wirbelkörper wird in Tabelle 3 dargestellt. Der Zentralstrahl wurde auf L_4 gerichtet. Die zahlenmäßig häufigste Art der Konturendarstellung wird durch Situation 1 gekennzeichnet, am zweithäufigsten ist Situation 2 und am seltensten Situation 3. Für Situation 1 ergibt sich, daß mit zunehmendem Abstand von L_4 die Zahl der Wirbelkörper geringer wird, bei denen die inneren Konturen repräsentativ sind. Als Ursache hierfür kommt vor allem Parallaxe in Frage. Bei Situation 2 und 3 nimmt die Zahl der Wirbelkörper mit zunehmendem Abstand von L_4 zu. Eine schon bei L_4 vorliegende Parallaxe oder Verkippung verstärkt sich mit zunehmender Entfernung.

Wirbelkörper	L_5	L_4	L_3	L_2
Situation 1	33	38	30	17
Situation 2	16	10	17	25
Situation 3	1	2	3	4
n LWS-Präparate	50	50	50	46

Tab. 3: Häufigkeitsverteilung der Projektionsmuster 1,2,3 auf den Röntgenaufnahmen der Lendenwirbelsäulenpräparate. Am häufigsten kommt Situation 1 vor, am seltensten Situation 3.

Eine regelmäßige Zuordnung der Binnenkonturen zu den Endplattenkonturen ist nur bei exakt orthograder Projektion möglich.

3.4.2 Konturen bei starker Konkavierung: Die Häufigkeitsverteilung in Tabelle 3 bezieht sich auf vorwiegend normal konfigurierte Wirbelkörper.

Bei stärkerer Konkavität der Endplatten, zum Beispiel bei Fällen von Fischwirbelbildung, muß mit folgender Abwandlung des Bildes gerechnet werden: trotz geringer Parallaxe oder Verkippung kann die am nächsten zur Wirbelkörpermitte liegende Kontur den Verlauf der Endplatten markieren und nicht, wie normalerweise zu erwarten wäre, den Verlauf einer Randleistenhälfte (Abb. 18 und 18a).

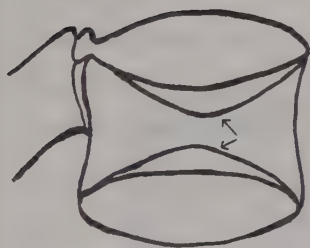


Abb. 18: Wirbelkörper mit starker Konkavierung in parallaktischer Darstellung als Röntgenskizze

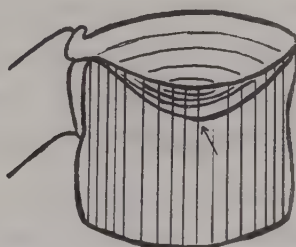


Abb. 18a: Derselbe Wirbelkörper als Modell. Zur Hervorhebung der Projektion sind die sichtbaren und verdeckten Flächen unterschiedlich schraffiert.



= sichtbar



= sichtbar



= nicht sichtbar

Eine gesetzmäßige Zuordnung der Position der Endplattenkontur bei Parallaxe gibt es nicht.

Mitentscheidend für eine Überlagerung oder Position zwischen den Randleisten ist der Grad der Konkavierung

3.4.3 Unterschiedliche Stärke der Konturen: Sobald die Deckplattenkontur ins Wirbelkörperinnere projiziert wird, tritt sie häufig bei orthograder Projektion besonders deutlich hervor. Dieser Effekt wird bei wachsender Verzeichnung rückgängig (Abb. 19a und 19b).

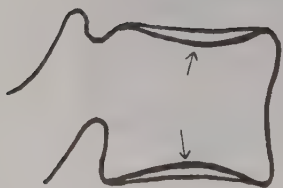


Abb. 19a: Häufig deutliche Markierung der Endplattenkontur bei orthograder Projektion

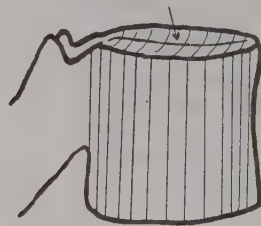


Abb. 19b: Schwächere Endplattenkontur bei parallaktischer Darstellung

Eine feste Zuordnung der jeweils markantesten Konturen zur Endplatte oder Randleiste ist nicht möglich.

Die Stärke der einzelnen Konturen wechselt mit der Projektion.

Bei exakt orthogruader Darstellung ist die Prägnanz der Endplattenkonturen maximal.

Bei parallaktischer Darstellung verliert die Endplattenkontur an Prägnanz.

3.4.4 Dorsale Höcker der Bogenwurzeln als Identifikationshilfe der Endplattenkonturen: Eine der Hilfen, die Endplattenkontur zu identifizieren, bilden die Höcker der Bogenwurzeln. Liegt nämlich eine stärkere Verkipfung oder Parallaxe vor, wird die Endplatte weniger strichförmig sondern mehr flächenhaft projiziert. Der ellipsenförmige Verlauf der Randleisten läßt sich ohne Unterbrechung bis zu den beiden Erhebungen an der Deckplatte oder Vertiefungen an der Schlußplatte im dorsalen Bereich des Wirbelkörpers verfolgen. Hier, vor den Bogenwurzeln, ist zwischen den Randleistenhälften oft eine dritte Linie zu sehen, die als Kontur den Endplattenverlauf wiedergibt. Sie verläuft zwischen den Erhebungen hinab bis zur Endplattenmitte und oft darüber hinaus.



Abb. 20: Die Höcker der Bogenwurzeln sind ein Identifikationshilfsmittel für den Startpunkt der Endplattenkontur, vor allem bei flächenhafter Projektion der Endplatte.

Bei divergierenden Höckern der Bogenwurzeln liegt der Startpunkt der Endplattenkontur dazwischen.

Trotz der Gesetzmäßigkeit der Projektion ist die Möglichkeit gegeben, daß eine exakte Identifizierung der Endplattenkontur nicht gelingt. Dieser Mangel schließt die Anwendung der vorne genannten Indices aus. Anstelle des experimentellen Sagittalschnittes muß dann die Schichtaufnahme treten.

3.5 Statistische Auswertung

3.5.1 Synopsis der Werte nach Männern und Frauen getrennt:
In der Tabelle 4, Seite 50, werden für die Männer die
Werte der Diskusflächen, der NORDIN-Indices, der HURXTHAL-
Indices und der hinteren Wirbelkörperkantendistanzen auf-
geführt, am Schluß der Tabelle der Mittelwert von jeder
gemessenen Größe.

Rö.- bild Nr.	Alter	Diskus- fläche gewogen (mg)	NORDIN- Index von L4 am Sägeschnitt	HURXTHAL- Index von L4/5 mit Hilfe des untergelegten Sägeschnittes	Hinterkanten- distanz von L4/5 gemessen am Ganzpräparat(cm)
18	23	0,104	0,86	0,55	1,2
1	32	0,078	0,85	0,53	0,5
45	32	0,076	0,83	0,57	0,8
23	34	0,104	0,80	0,69	1,1
47	37	0,077	0,86	0,55	1,0
4	39	0,110	0,80	0,80	1,1
22	39	0,097	0,76	0,72	0,7
8	40	0,100	0,89	0,68	0,8
28	41	0,087	0,96	0,52	1,0
6	44	0,086	0,82	0,57	0,8
46	46	0,085	0,86	0,48	0,8
50	48	0,104	0,82	0,72	1,0
42	49	0,073	0,75	0,70	0,7
12	51	0,118	0,75	0,78	0,9
25	52	0,116	0,85	0,82	1,1
27	53	0,103	0,78	0,61	0,9
38	53	0,096	0,68	0,80	0,9
20	55	0,094	0,77	0,64	0,7
33	55	0,086	0,87	0,61	1,0
13	57	0,105	0,80	0,66	0,9
26	57	0,120	0,78	0,73	0,9
5	59	0,100	0,80	0,76	0,9
24	62	0,078	0,80	0,53	0,5
15	64	0,093	0,95	0,60	0,5
37	64	0,122	0,75	0,80	1,0
7	65	0,061	0,93	0,44	0,5
14	65	0,041	0,89	0,42	0,5
30	66	0,104	0,75	0,60	0,9
43	66	0,095	0,82	0,76	0,8
44	68	0,100	0,78	0,73	0,8
29	72	0,122	0,70	0,79	1,0
36	74	0,090	0,75	0,52	0,8
11	76	0,120	0,50	1,83	0,7
17	81	0,084	0,82	0,66	0,8
19	82	0,116	0,79	0,66	0,7
34	86	0,094	0,72	0,64	0,7
Mittelwert $\bar{x}$		0,096	0,800	0,681	0,831

Tab.4 : Synoptische Darstellung der Werte für das Kollektiv der Männer
in der Reihenfolge des Lebensalters

In der Tabelle 5 werden für die Frauen die Werte der Diskusflächen, der NORDIN-Indices, der HURXTHAL-Indices und der hinteren Wirbelkörperkantendistanz aufgeführt, am Schluß der Tabelle der Mittelwert von jeder gemessenen Größe.

Rö.- bild Nr.	Alter	Diskus- fläche gewogen (mg)	NORDIN- Index von L4 am Sägeschnitt	HURXTHAL- Index von L4/5 mit Hilfe des untergelegten Sägeschnittes	Hinterkanten- distanz von L4/5 gemessen am Ganzpräparat(cm)
21	34	0,075	0,89	0,57	0,8
48	34	0,081	0,78	0,77	1,0
32	43	0,095	0,82	0,69	1,0
2	46	0,096	0,85	0,68	1,0
3	47	0,086	0,78	0,72	0,9
41	52	0,083	0,85	0,56	0,9
39	56	0,095	0,82	0,72	1,0
16	60	0,090	0,77	0,59	0,7
40	62	0,076	0,76	0,53	1,0
49	64	0,047	0,78	0,68	0,6
9	67	0,070	0,82	0,48	0,6
31	69	0,066	0,81	0,42	0,9
10	72	0,078	0,82	0,69	0,6
35	74	0,076	0,75	0,60	0,8
Mittelwert $\bar{x}$		0,080	0,807	0,621	0,843

Tab. 5: Synoptische Darstellung der Werte für das Kollektiv der Frauen in der Reihenfolge des Lebensalters

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der statistischen Berechnung aufgeführt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für den NORDIN- und HURXTHAL-Index, die hintere Wirbelkörperkantendistanz und die Diskusfläche werden für Männer und Frauen getrennt angegeben. Bei allen vier Meßgrößen war der t-Test zwischen Männern und Frauen nicht signifikant:

		HURXTHAL- Index		NORDIN- Index		Hinterkanten- distanz L_4/L_5 (cm)		Diskus- fläche $L_4/5$ (mg)*	
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Männer	36	0,681	0,225	0,80	0,08	0,831	0,186	0,096	0,018
Frauen	14	0,621	0,102	0,807	0,04	0,843	0,16	0,08	0,013
t-Wert	50	0,9615		0,3139		0,2158		0,0160	
Sign.		-		-		-		-	

Tab. 6: Tabellarische Aufstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Meßgrößen

- = nicht signifikant

* die Einheit mg bezieht sich auf das Gewicht der ausgeschnittenen Umrißfläche

Da sich keine Signifikanz ergibt, wird im weiteren auf die Unterteilung in männliche und weibliche Präparate verzichtet. In Tabelle 7 sind deshalb die Mittelwerte und die einfache Standardabweichung für alle vier Meßgrößen von dem gesamten Kollektiv angegeben.

	n	HURYTHAL- Index	NORDIN- Index	Hinterkanten- distanz L_4/L_5 (cm)	Diskus- fläche $L_{4/5}$ (mg)*
$\bar{x}$	50	0,663	0,801	0,834	0,091
s	50	$\pm 0,199$	$\pm 0,07$	$\pm 0,178$	$\pm 0,018$

Tab. 7: Tabellarische Aufstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen des Gesamtkollektivs

* die Einheit mg bezieht sich auf das Gewicht der ausgeschnittenen Umrißfläche

3.5.2 Häufigkeitsverteilung der vier Meßgrößen im gesamten Kollektiv:

3.5.2.1 Abbildung 21 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Diskusflächen im gesamten Kollektiv. Mittelwert und Standardabweichung sind markiert. Um einen zahlenmäßigen Überblick über die Verteilung der Fälle zu erhalten, ist es erforderlich, die Abstände auf der Ordinate in Intervalle von der Größe einer halben Standardabweichung zu unterteilen. Oberhalb der einfachen Standardabweichung finden sich 8 Fälle, unterhalb 5 Fälle.

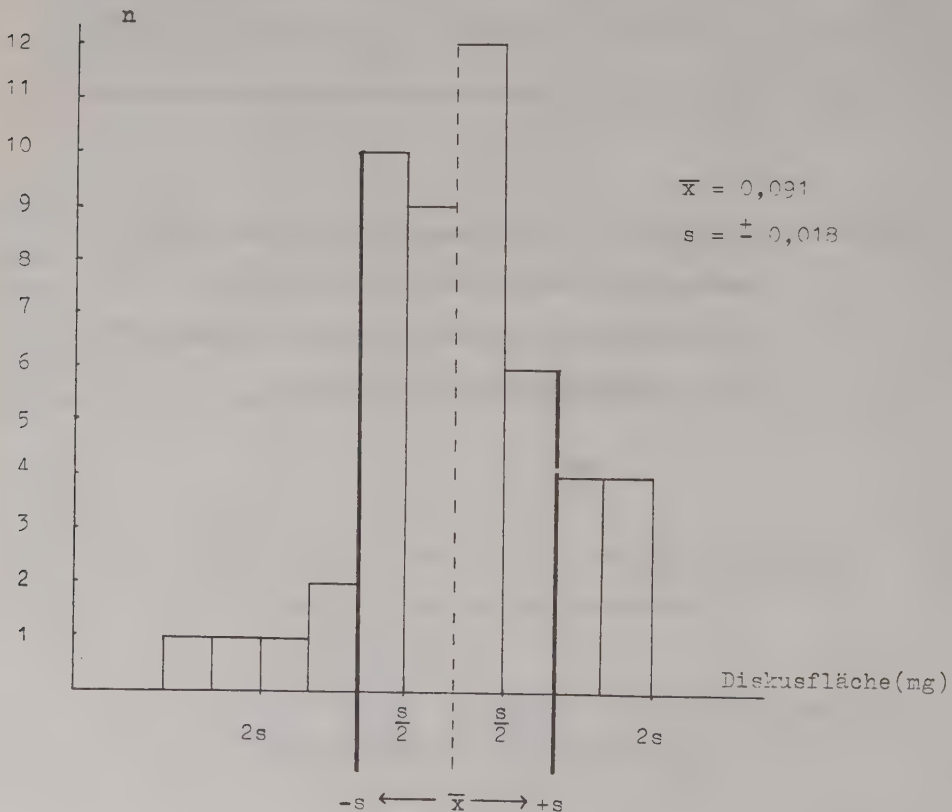


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung der Diskusflächen
(in mg der ausgeschnittenen Papierumrißfläche)

3.5.2.2 Abbildung 22 zeigt die Häufigkeitsverteilung der NORDIN-Indexzahlen des Gesamtkollektivs.

Mittelwert und Standardabweichung sind markiert.

Der Abstand der Intervalle auf der Ordinate beträgt $\frac{s}{2}$.

Oberhalb der einfachen Standardabweichung finden sich 5 Fälle, unterhalb 4 Fälle.

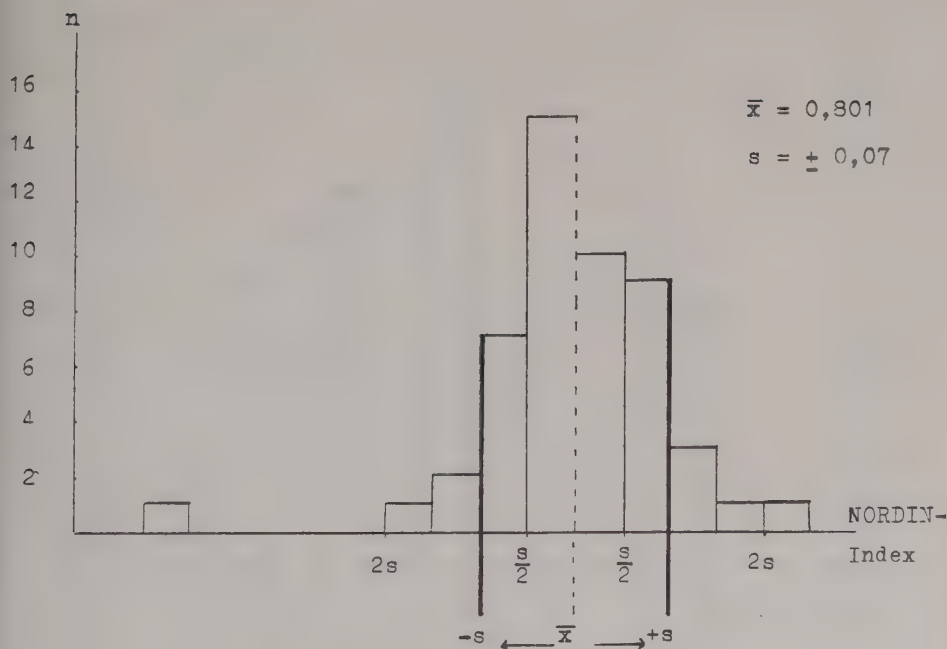


Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der NORDIN-Indexzahlen

3.5.2.3 Abbildung 23 zeigt die Häufigkeitsverteilung der HURXTHAL-Indexzahlen im gesamten Kollektiv. Mittelwert und Standardabweichung sind markiert. Der Abstand der Intervalle auf der Ordinate beträgt $\frac{s}{2}$. Oberhalb der einfachen Standardabweichung findet sich 1 Fall, unterhalb 3 Fälle.

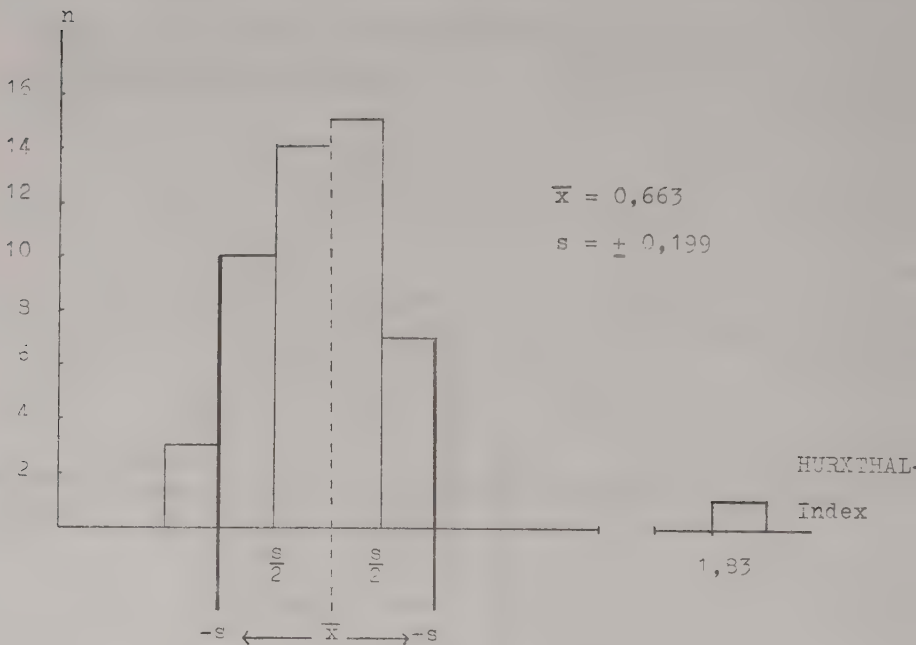


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der HURXTHAL-Indexzahlen

3.5.2.4 Abbildung 24 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Hinterkantendistanzen im gesamten Kollektiv. Mittelwert und Standardabweichung sind markiert. Der Abstand der Intervalle auf der Ordinate beträgt $\frac{s}{2}$. Oberhalb der einfachen Standardabweichung finden sich 4 Fälle, unterhalb 8 Fälle.

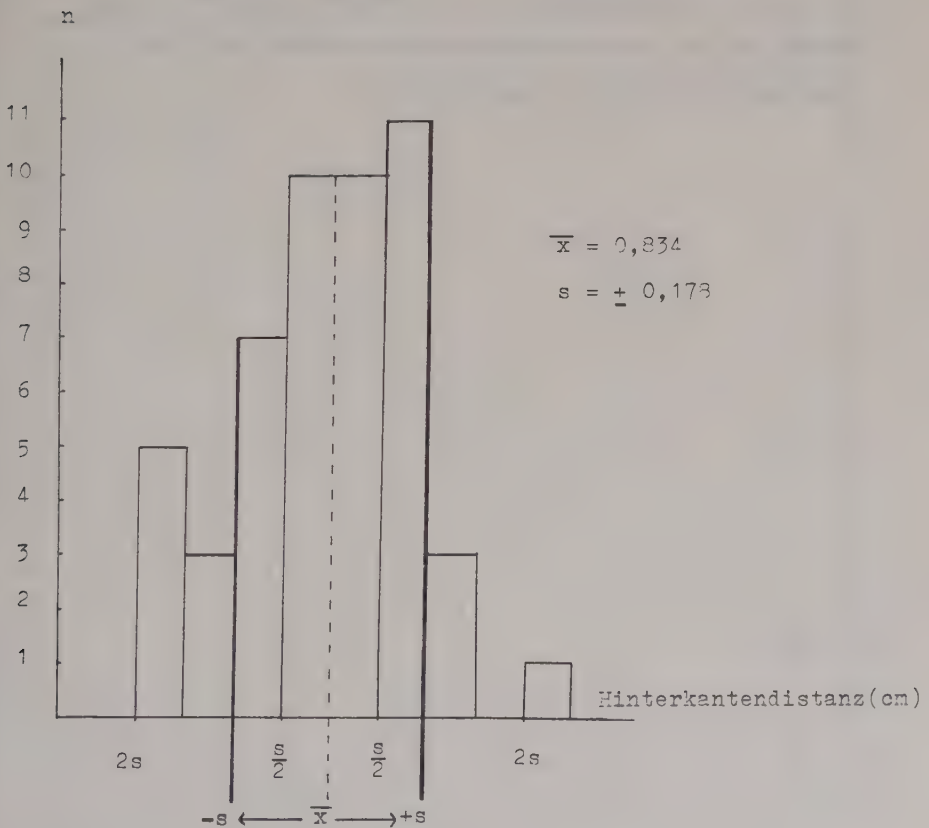


Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der Hinterkantendistanzen

3.5.3 Korrelation der Meßgrößen:

Die Korrelation der Meßergebnisse geschieht in zwei Abschnitten. Zunächst werden die Ergebnisse mit dem Alter korreliert, danach werden die Beziehungen der einzelnen Parameter und Indices untereinander bestimmt.

3.5.3.1 Korrelation der Meßgrößen mit dem Alter:

Die Werte der Diskusflächen, der NORDIN- und HURXTHAL-Indices und der Hinterkantendistanzen werden mit dem Alter korreliert (Abb. 25,26,27,28).

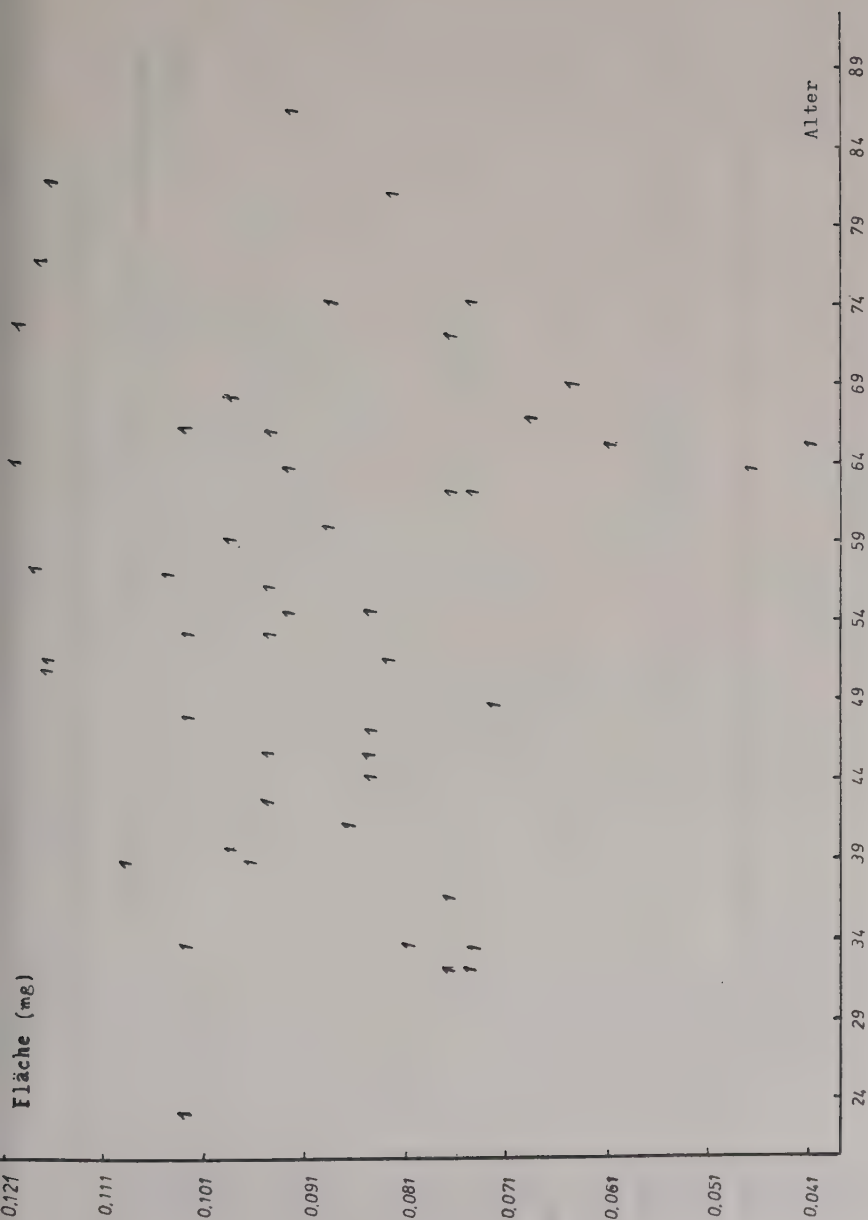


Abb. 25: Korrelation der Diskusfläche mit dem Alter. Es ergibt sich keine Signifikanz.
($r = 0,0059$)

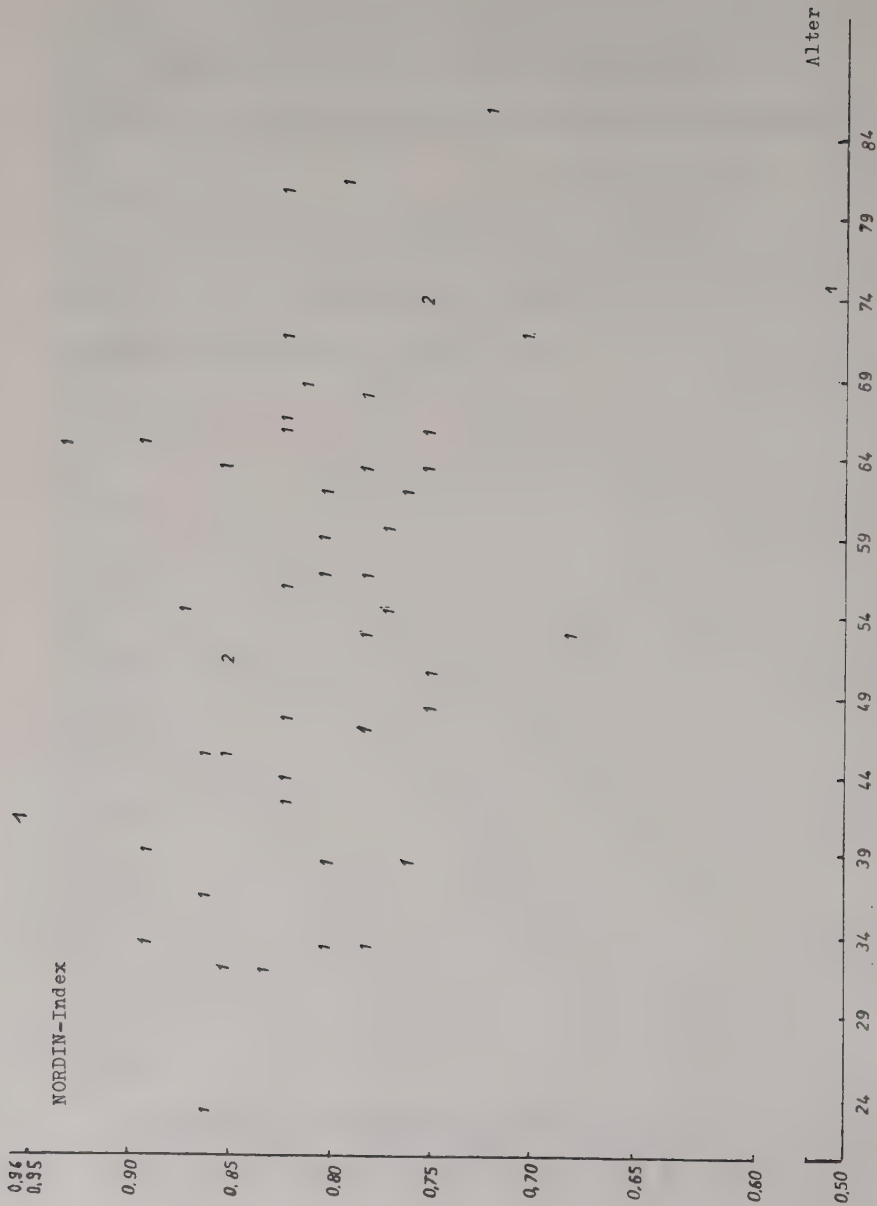


Abb. 26: Die Korrelation zwischen NORDIN-Index und Alter ist negativ signifikant.

($r = -0,4055$, $P \leq 1\%$)

1,83

HURXTHAL-Index

0,88
0,82
0,76
0,70
0,64
0,58
0,52
0,46
0,40

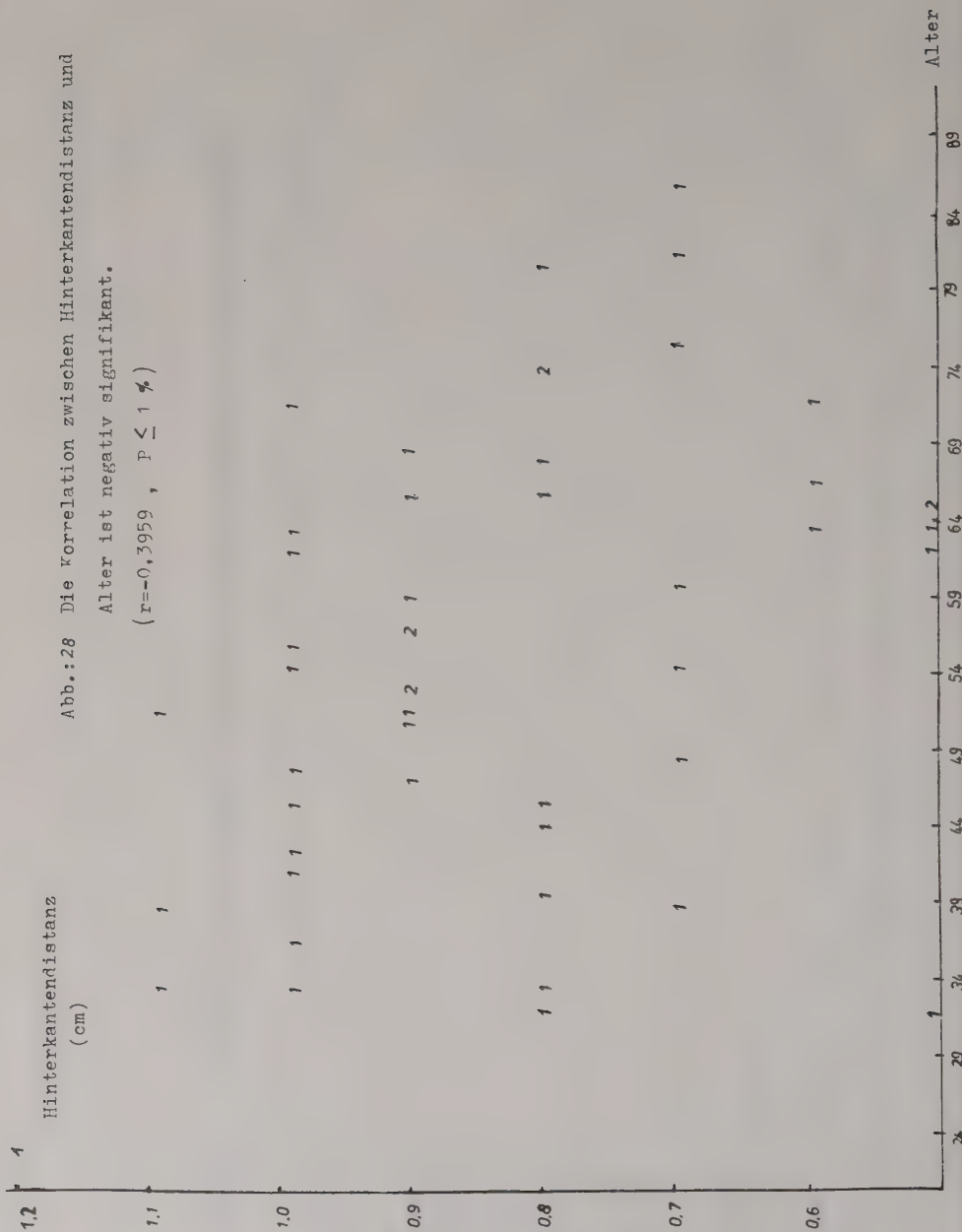
Alter

24 29 34 39 44 49 54 59 64 69 74 79 84 89

Abb. 27: Korrelation zwischen HURXTHAL-Index und Alter. Es ergibt sich keine Signifikanz.

($r = 0,1484$)

Abb.: 28 Die Korrelation zwischen Hinterkantendistanz und Alter ist negativ signifikant.

$$(r = -0.3959, p < 1\%)$$


In Tabelle 8 ist das Ergebnis der oben genannten Korrelationen zusammengefaßt. Es zeichnet sich eine Abhängigkeit mit 1 %iger Irrtumswahrscheinlichkeit zwischen NORDIN-Index und Alter und Hinterkantendistanz und Alter ab.

Korrelation	r	Signifikanz
Fläche : Alter	0,0059	-
NORDIN-Index : Alter	-0,4055	+
HURXTHAL-Index : Alter	0,1484	-
Hinterkanten- distanz : Alter	-0,3959	+

Tab. 8: Die Korrelation der vier
Meßgrößen zum Alter

+ = signifikant $P \leq 1 \%$

- = nicht signifikant

3.5.3.2 Korrelation der Meßwerte untereinander:

Die Abbildungen 29,30,31,32,33,34 zeigen die Korrelationen der Meßwerte der Diskusflächen, der Hinterkantendistanzen, der NORDIN- und HURXTHAL-Indices untereinander.

Jeder einzelne Fall ist mit seiner Röntgenbildnummer gekennzeichnet.

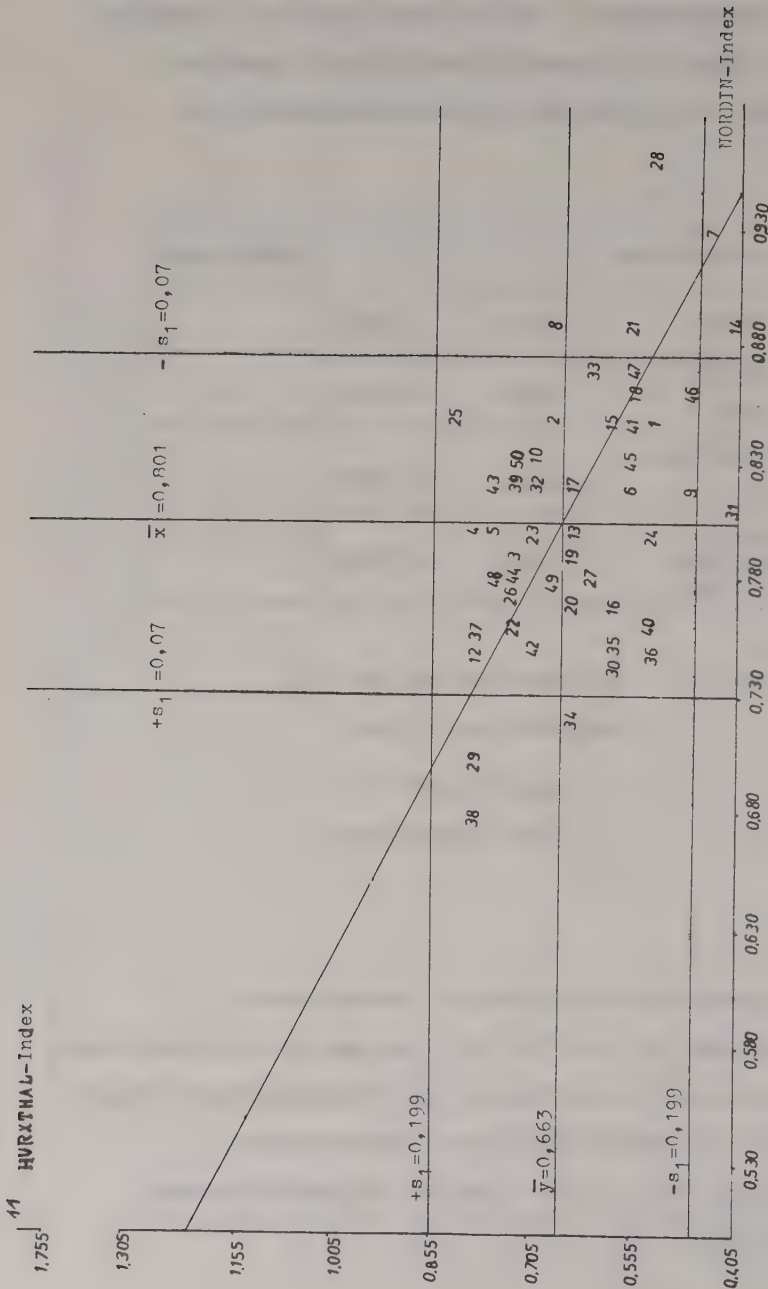


Abb.29: Korrelation zwischen HURXTHAL-Index und HORDIN-Index. Es ergibt sich eine negative Signifikanz. ($r = -0,7261$, $p \leq 0,1\%$) HORDIN-Index $< 0,8$ = pathologisch HURXTHAL-Index $> 0,35$ = pathologisch

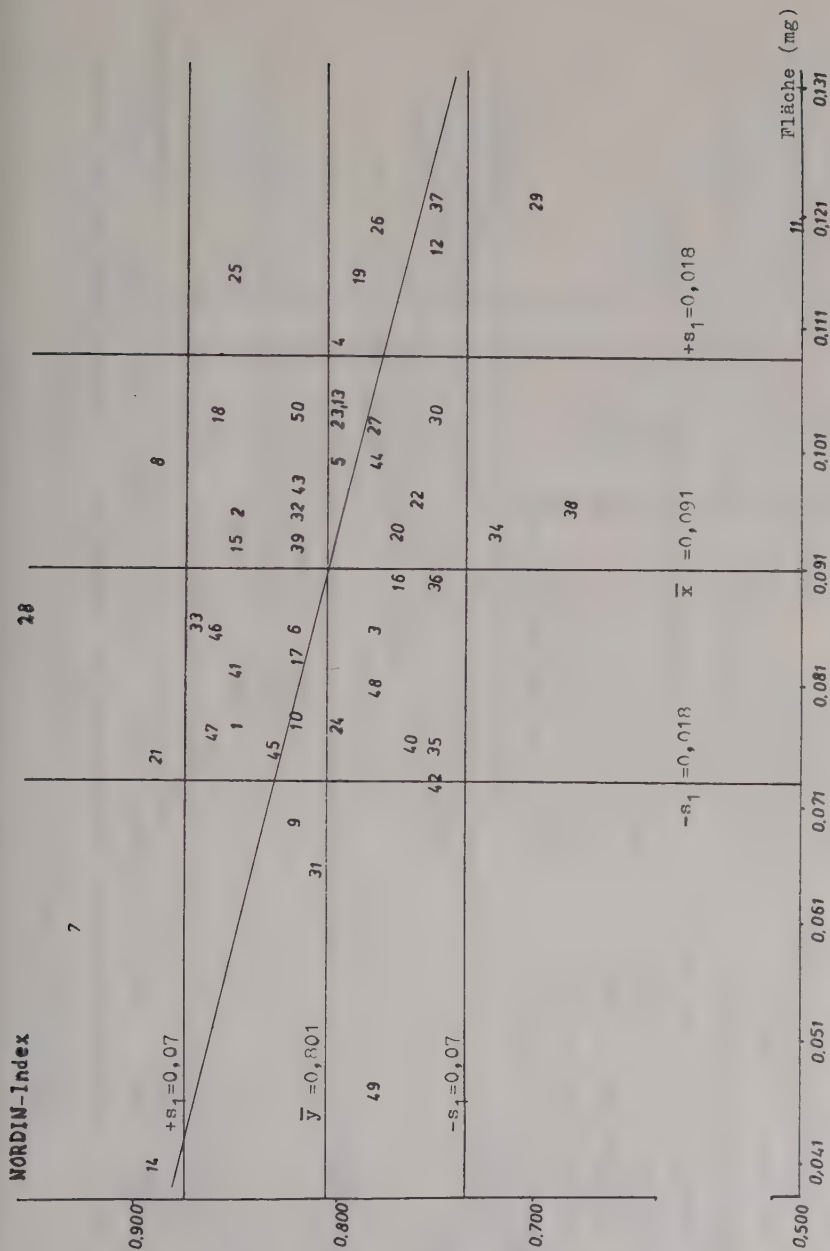


Abb. 30: Korrelation zwischen NORDIN-Index und Diskusfläche. Es zeichnet sich eine negative Signifikanz ab. ($r = -0,4051$, $P \leq 1\%$), NORDIN-Index $> 0,8$ = physiologisch

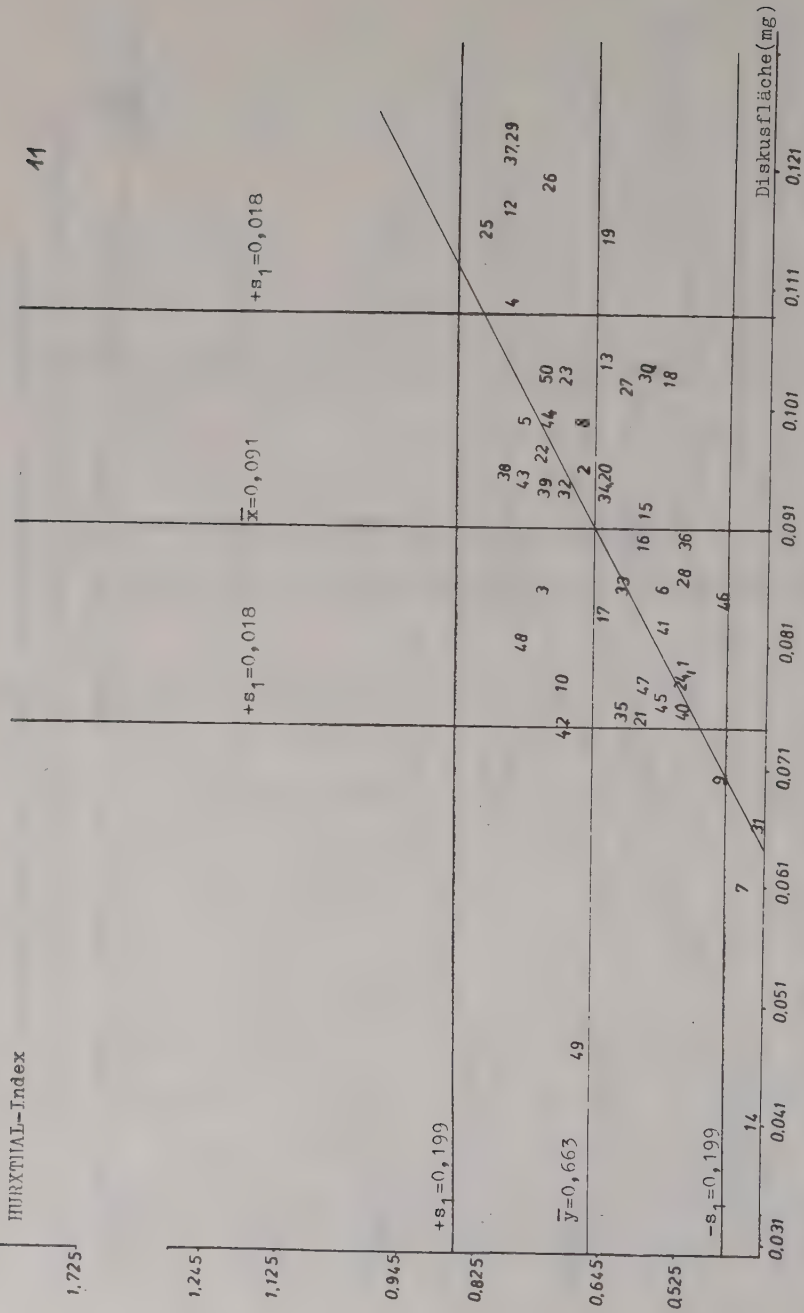


Abb. 31: Korrelation zwischen HURXTIAL-Index und Diskusfläche. Es zeichnet sich eine Signifikanz ab. ($r=0,5369$, $P \leq 0,1\%$) HURXTIAL-Index $< 0,35$ = physiologisch

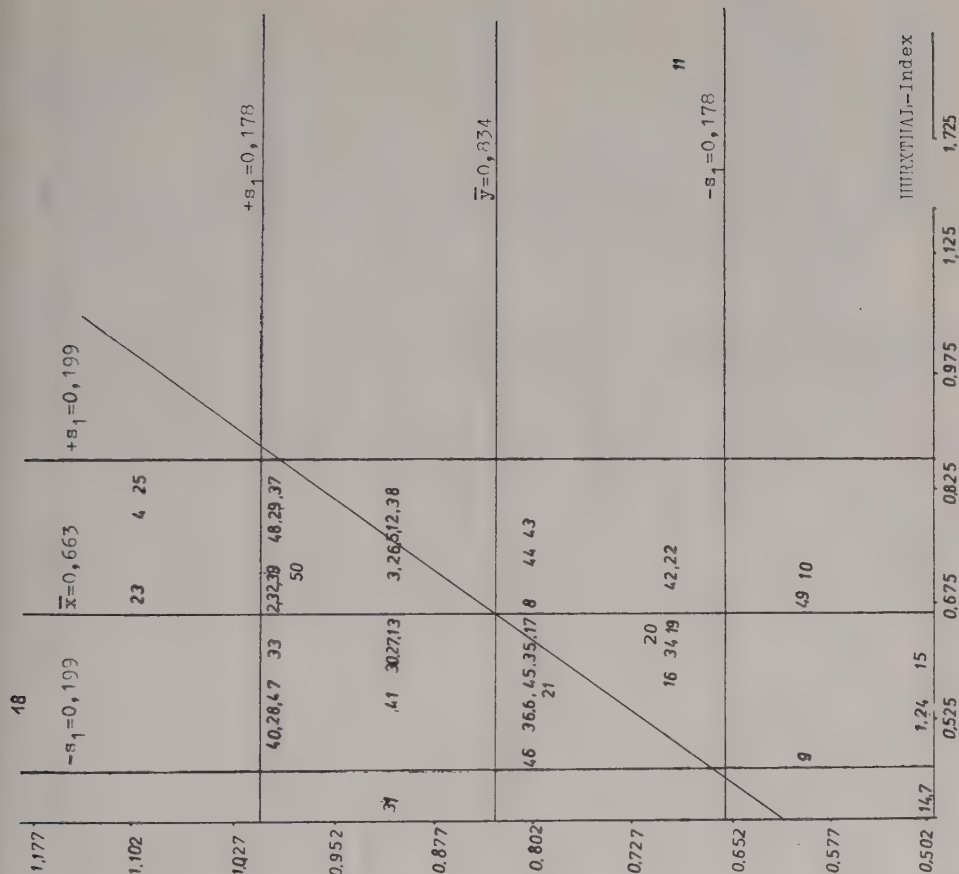


Abb. 32:

Korrelation zwischen
Hinterkantendistanz und
HURXTHAL-Index. Es ergibt
sich keine Signifikanz.
Ohne Fall Nr. 11 ist eine
Signifikanz vorhanden.
($r=0,4125$, $P \leq 1\%$)
HURXTHAL-Index $< 0,35$ =physiol.

1,177	Hinterkantendistanz (cm)	$-s_1 = 0,07$	$\bar{x} = 0,301$	$+s_1 = 0,07$	48
1,102	1		423	25	
1,027	$+s_1 = 0,173$	29	37 40 48	50,99,32	2 47 33
0,952					28
0,877	38	30,12 2627,3	135 31	41	
0,802	$\bar{y} = 0,834$				
		36 35 44	174,3 45	21 8	
1,1	34	42,22,16	19		
0,652	$-s_1 = 0,173$	20			
0,577		49	9 10		
0,502		24			
		0,680	0,730	0,780	
		0,530		0,830	
				0,880	
				14	
				7	
					NORDIN-Index
					0,930

Abb. 33: Vorrelation zwischen 0,727
Hinterkantendistanz
und NORDIN-Index.
Es ergibt sich
keine Signifikanz.

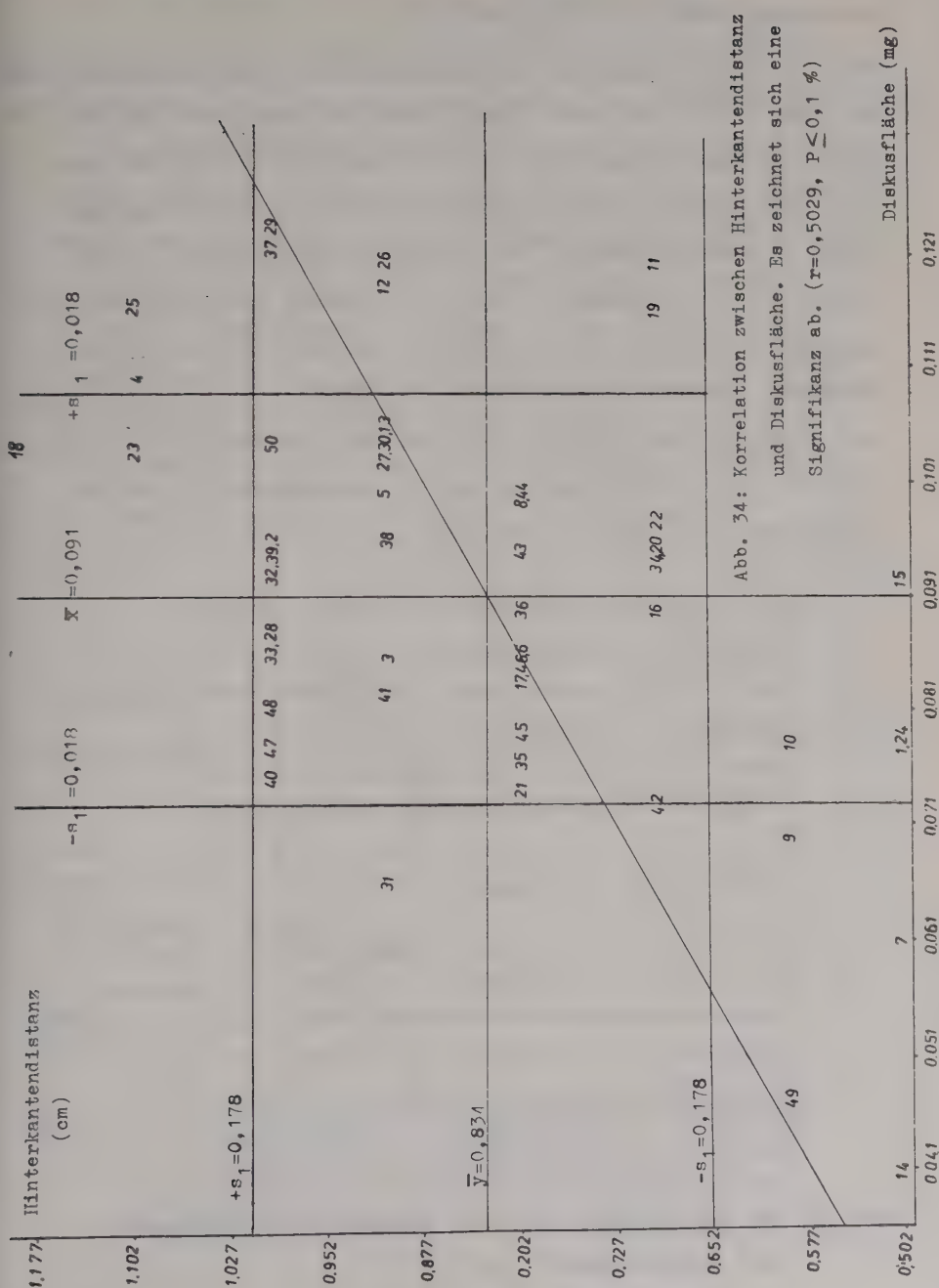


Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der Korrelationen der einzelnen Meßwerte untereinander.

Bei der Korrelation des HURXTHAL-Index zur Hinterkantendistanz zeichnet sich erst eine Abhängigkeit ab, wenn der Fall Nr. 11 nicht berücksichtigt wird. Hierbei handelt es sich um einen Fall mit Einbruch der Deckplatten als Folge der pathologischen Formveränderungen. Wir haben uns erlaubt nur diesen einen Fall auszuklammern, weil die Störung der patho-physiologischen Vorgänge hier am meisten ins Gewicht fällt. Das HURXTHAL-Phänomen (Konkavierung der Endplatten und Expansion der Bandscheiben) erfährt so durch den Einbruch der Deckplatten, der nicht als Konkavierung im vereinbarten Sinne zu betrachten ist, eine Verfremdung.

NORDIN-I. : HURXTHAL-I.	-0,7261	++
Fläche : NORDIN-I.	-0,4051	+
Fläche : HURXTHAL-I.	0,5369	++
HURXTHAL-I. : H.Distanz	0,1273	-
HURXTHAL-I. : H.Distanz	ohne Nr11 0,4125	+
NORDIN-I. : H.Distanz	0,0097	-
Fläche : H.Distanz	0,5029	++

Tab. 9: Die Beziehungen der vier Meßgrößen untereinander

++ = signifikant $P \leq 0,1 \%$

+ = signifikant $P \leq 1 \%$

- = nicht signifikant

3.5.4 Untersuchung der Zwischenwirbelraumausdehnung unter Anwendung von statistischen Merkmalkombinationen:

Um zu klären, ob die eingangs aufgestellten Merkmalkombinationen für eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Liftung, nämlich F über s, NORDIN-Index über s und h über s oder eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Konkavierung, wobei F über s, NORDIN-Index unter s und h unter s liegen, überhaupt vorkommen, wurde Tabelle 10 erstellt. Sie gibt für das Gesamtkollektiv eine Zusammenstellung der Werte innerhalb und außerhalb der Norm an. Es wurde festgelegt, daß die Werte innerhalb der halben Standardabweichung zum Normbereich gehören.

Statistische Klassifikation	n	Norm- bereich $\bar{x} - \frac{s}{2}$ bis $\bar{x} + \frac{s}{2}$	über s	unter s	über $\frac{s}{2}$	unter $\frac{s}{2}$
Fläche	50	21	8	5	6	10
NORDIN-Index	50	25	5	4	9	7
Hinterkanten- distanz	50	20	4	8	11	7

Tab. 10: Anzahl der Fälle im Gesamtkollektiv innerhalb und außerhalb der Norm (Normbereich von $\bar{x} - \frac{s}{2}$ bis $\bar{x} + \frac{s}{2}$)

Man kann aus Tabelle 10 entnehmen, daß die Werte außerhalb der Standardabweichung im vorliegenden Kollektiv vorkommen. Es stellt sich die Frage, ob und wie häufig diese Kombinationen für den konkreten Fall zutreffen. Es ergibt sich die Notwendigkeit, die Werte für jeden einzelnen Fall in einer Tabelle nach statistischen Gesichtspunkten zu klassifizieren.

3.5.4.1 Zusammenstellung der Diskusflächen, der NORDIN-Indices und der Hinterkantendistanzen, für jeden einzelnen Fall nach statistischen Klassifikationen eingeteilt (Tab. 11):

Fall Nr.	Diskus- fläche F	Hinter- kanten- distanz h	NORDIN- Index	Fall Nr.	Diskus- fläche F	Hinter- kanten- distanz h	NORDIN- Index
1	unter s_{N_1}	unter s	über s_{N_2}	26	über s	norm	norm
2	norm	über s_{N_2}	über s_{N_2}	27	über s_{N_2}	norm	norm
3	norm	norm	norm	28	norm	über s_{N_2}	über s
4	über s	über s	norm	29	über s	über s_{N_2}	unter s
5	norm	norm	norm	30	über s_{N_2}	norm	norm
6	norm	norm	norm	31	unter s	norm	norm
7	unter s	unter s	über s	32	norm	über s_{N_2}	norm
8	norm	norm	über s	33	norm	über s_{N_2}	über s_{N_2}
9	unter s	unter s	norm	34	norm	unter s_{N_2}	unter s
10	unter s_{N_2}	unter s	norm	35	unter s_{N_2}	norm	unter s_{N_2}
11	über s	unter s_{N_2}	unter s	36	norm	norm	unter s_{N_2}
12	über s	norm	unter s_{N_2}	37	über s	über s_{N_2}	unter s_{N_2}
13	über s_{N_2}	norm	norm	38	norm	norm	unter s
14	unter s	unter s	über s	39	norm	über s_{N_2}	norm
15	norm	unter s	über s_{N_2}	40	unter s_{N_2}	über s_{N_2}	unter s_{N_2}
16	norm	unter s_{N_2}	norm	41	norm	norm	über s_{N_2}
17	norm	norm	norm	42	unter s_{N_2}	unter s_{N_2}	unter s_{N_2}
18	über s_{N_2}	über s	über s_{N_2}	43	norm	norm	norm
19	über s	unter s_{N_2}	norm	44	norm	norm	norm
20	norm	unter s_{N_2}	norm	45	unter s_{N_2}	norm	norm
21	unter s_{N_2}	norm	über s	46	norm	norm	über s_{N_2}
22	norm	unter s_{N_2}	unter s_{N_2}	47	unter s_{N_2}	über s_{N_2}	über s_{N_2}
23	über s_{N_2}	über s	norm	48	unter s_{N_2}	über s_{N_2}	norm
24	unter s_{N_2}	unter s	norm	49	unter s	unter s	norm
25	über s	über s	über s_{N_2}	50	über s_{N_2}	über s_{N_2}	norm

Tab. 11: Einteilung aller Fälle des Kollektivs nach statistischen Klassen
über s_1 = Werte über der einfachen Standardabweichung
unter s_1 = Werte unter der einfachen Standardabweichung
norm = Werte innerhalb des Normbereiches ($\bar{x} - \frac{s}{2}$ bis $\bar{x} + \frac{s}{2}$)

3.5.4.2 Untersuchung der Fälle aus dem Gesamtkollektiv mit der Gemeinsamkeit überdurchschnittlicher Meßwerte zur Ermittlung individueller Fälle mit pathologischen Merkmalkombinationen:

Es kann Fälle geben, die im Sinne der Fragestellung eine Expansion des Zwischenwirbelraumes bedeuten. Es gibt aber auch welche, die im sagittalen Durchmesser verlängert sein können. Es muß berücksichtigt werden, daß eine vergrößerte Fläche durch Größenunterschiede der Wirbel auftreten kann. Eine Expansion ist nur anzunehmen bei vergrößerter Fläche in Kombination mit dem NORDIN-Index (Zeichen der Konkavierung) und mit der Hinterkantendistanz (Zeichen für Liftung).

Der Mittelwert $\bar{x}$ des NORDIN-Index, obwohl er mit dem von BARNETT und NORDIN bestimmten Wert fast übereinstimmt, soll hier nicht als Grenzwert zwischen physiologisch und pathologisch gelten, sondern ein Indiz für die Konkavierung sein. Deshalb werden die NORDIN-Indexzahlen ebenfalls in statistische Klassen eingeteilt.

In Tabelle 12 werden die Fälle, deren Flächen über s liegen, auf eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Liftung (h über s , NORDIN-Index über s) untersucht. Das Ergebnis läßt sich unter der Spalte "Merkmale für Liftung" ablesen. Bei keinem Fall sind beide Bedingungen für eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Liftung erfüllt. Bei zwei Fällen ist lediglich eine Bedingung erfüllt.

Diskus- fläche F über s	Hinter- kanten- distanz h über s	NORDIN- Index über s	Merkmale für Liftung
Nr. 4	ja	nein	1
Nr.11	nein	nein	0
Nr.12	nein	nein	0
Nr.19	nein	nein	0
Nr.25	ja	nein	1
Nr.26	nein	nein	0
Nr.29	nein	nein	0
Nr.37	nein	nein	0

Tab. 12: Zusammenstellung der Fälle mit Diskusfläche F über s. Untersuchung auf eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Liftung, nicht durch Konkavierung. In keinem Fall sind beide Merkmale vorhanden.

In Tabelle 13 werden dieselben Diskusflächen auf eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Konkavierung (h unter s, NORDIN-Index unter s) untersucht. Das Ergebnis ist unter der Spalte "Merkmale für Konkavierung" abzulesen. In keinem Fall sind beide Bedingungen für eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Konkavierung erfüllt.

Diskus- fläche F über s	Hinter- kanten- distanz h unter s	NORDEN- Index unter s	Merkmale für Konkavie- rung
Nr. 4	nein	nein	0
Nr.11	nein	ja	1
Nr.12	nein	nein	0
Nr.19	nein	nein	0
Nr.25	nein	nein	0
Nr.26	nein	nein	0
Nr.29	nein	ja	1
Nr.37	nein	nein	0

Tab. 13: Zusammenstellung der Fälle mit Diskusfläche F über s. Untersuchung auf eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Konkavierung, nicht durch Liftung. In keinem Fall sind beide Merkmale vorhanden.

Da kein Fall die aufgestellten Bedingungen erfüllt, sollen die Auswahlbedingungen erleichtert werden.

3.5.4.3 Untersuchung der Fälle aus dem Gesamtkollektiv mit der Gemeinsamkeit vergrößerter Meßwerte zur Ermittlung individueller Fälle mit pathologischen Merkmalkombinationen bei erleichterten Auswahlbedingungen mit einer Vergrößerung der Werte gegenüber $\bar{x}$ nur um die halbe Standardabweichung:

In Tabelle 14 werden die Fälle, deren Fläche über $\frac{s}{2}$ liegen auf eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Liftung (h über $\frac{s}{2}$, NORDIN-Index über $\frac{s}{2}$) untersucht. Das Ergebnis läßt sich unter der Spalte "Merkmale für Liftung" ablesen. Zwei Fälle von Liftung und fünf Mischformen kommen vor.

Diskus- fläche	Hinter- kanten- distanz	NORDIN- Index	Merkmale für
F über $\frac{s}{2}$	h über $\frac{s}{2}$	über $\frac{s}{2}$	Liftung
Nr. 4	ja	nein	1
Nr.11	nein	nein	0
Nr.12	nein	nein	0
Nr.13	nein	nein	0
Nr.18	ja	ja	2
Nr.19	nein	nein	0
Nr.23	ja	nein	1
Nr.25	ja	ja	2
Nr.26	nein	nein	0
Nr.27	nein	nein	0
Nr.29	ja	nein	1
Nr.30	nein	nein	0
Nr.37	ja	nein	1
Nr.50	ja	nein	1

Tab. 14: Zusammenstellung der Fälle mit Diskusfläche F über $\frac{s}{2}$. Untersuchung auf eine Zwischenwirbelraumverweiterung durch Liftung, nicht durch Konkavierung. In zwei Fällen, Nr. 18 und Nr. 25, sind beide Bedingungen erfüllt. Nr. 4,23,29,37,50, sind Mischfälle.

In Tabelle 15 werden dieselben Diskusflächen auf eine Zwischenwirbelraumerweiterung durch Konkavierung (h unter $\frac{s}{2}$, NORDIN-Index unter $\frac{s}{2}$) untersucht. Das Ergebnis ist unter der Spalte "Merkmale für Konkavierung" abzulesen. Ein Fall von Konkavierung (Nr. 11) kommt vor. Es handelt sich um einen Fall von außerordentlicher Pathologie. Daneben kommen vier Mischformen vor (Nr. 12, 19, 29, 37). Die Fälle Nr. 13, 26, 27, 30 sind monosymptomatisch, da bei ihnen in den beiden Tabellen Nr. 14 und 15 nur ein Merkmal vorhanden ist, nämlich die vergrößerte Diskusfläche.

Diskus- fläche	Hinter- kanten- distanz	NORDIN- Index	Merkmale für Konkavie- rung
F über $\frac{s}{2}$	h unter $\frac{s}{2}$	unter $\frac{s}{2}$	
Nr. 4	nein	nein	0
Nr. 11	ja	ja	2
Nr. 12	nein	ja	1
Nr. 13	nein	nein	0
Nr. 18	nein	nein	0
Nr. 19	ja	nein	1
Nr. 23	nein	nein	0
Nr. 25	nein	nein	0
Nr. 26	nein	nein	0
Nr. 27	nein	nein	0
Nr. 29	nein	ja	1
Nr. 30	nein	nein	0
Nr. 37	nein	ja	1
Nr. 50	nein	nein	0

Tab. 15: Zusammenstellung der Fälle mit Diskusflächen F über $\frac{s}{2}$. Untersuchung auf eine Zwischenwirbelaugerweiterung durch Konkavierung, nicht durch Liftung. Bei einem Fall (Nr. 11) sind beide Bedingungen erfüllt. Bei Nr. 12, 19, 29, 37 handelt es sich um Mischformen. Die Fälle Nr. 13, 26, 27, 30 sind monosymptomatisch.

4. DISKUSSION

Die Diskussion der Ergebnisse ist in fünf Abschnitte gegliedert. In einzelnen werden folgende Punkte erörtert:

1. die vom Plattenabstand abhängige Differenz der Abbildungsgröße
2. der Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen am markierten Wirbelkörperpräparat
3. die mit dem Modell erzielten Projektionsfiguren
4. die Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen mit Hilfe des Querschnittes und
5. die statistische Auswertung

4.1 Die vom Plattenabstand abhängige Differenz der Abbildungsgröße

4.1.1 Unterschiedliche Fokus-Objekt-Distanzen als Ursache der Abbildungsdifferenzen:

Bei einem Vergleich der Abbildungsmodalitäten ist zunächst festzustellen, daß ein Objekt um so größenrichtiger und schärfer abgebildet wird, je näher es sich an der Filmkassette befindet. Eine direkte Auflage des abzubildenden Objektes auf der Filmbene läßt sich jedoch meist

nicht realisieren, so daß zur Vermeidung von unerwünschten Vergrößerungen der Fokus-Objekt-Abstand möglichst groß gewählt wird. Mit steigendem Fokus-Objekt-Abstand nähert sich dann die Zentralprojektion immer mehr der Parallelprojektion, so daß das Objekt nahezu annähernd in seiner natürlichen Größe abgebildet werden kann.

Als Regel gilt, daß der Fokus-Film-Abstand mindestens das Fünffache der Objektstärke betragen soll. Für eine solche Distanz gibt SCHLUNGBAUM (1970) (13) eine Abbildungsvergrößerung bis zu 20 % an.

Die in Tabelle 1 und 2, Seite 30 und 32, untersuchten Abbildungsdifferenzen zwischen Leiche-Präparat und Präparat-Sektionsschnitt haben ihre Ursache in einer unterschiedlichen Fokus-Objekt-Distanz der Aufnahmeobjekte bei gleichbleibendem Fokus-Film-Abstand. Beim Röntgenbild der Leiche ist die Distanz der Wirbelsäule von der Röntgenkassette am größten und nimmt zum Sektionsschnitt hin ab, der den geringsten Abstand zur Filmkassette hat.

Das heißt, daß vom Röntgenbild des Sektionsschnittes zum Präparat und vom Präparat zur Leiche eine Abbildungsvergrößerung stattfindet und zwar jeweils um den Faktor 1,1 wie aus Tabelle 16 zu ersehen ist.

	Mittelwerte der Meßstrecken (cm)	Zunahme der Vergrößerung = Differenz der Mittelwerte (cm)	Quotient aus kürzerer Meß- strecke und der Differenz zur größeren Meßstrecke (cm)	Bruchteil der Vergröße- rung	Vergröße- rungs- faktor
Leiche -	3,43 - 3,12	0,31	$\frac{3,12}{0,31} = 10,0$	0,10	1,10
Präparat	3,99 - 3,64	0,35	$\frac{3,64}{0,35} = 10,4$	0,104	1,104
Präparat -	2,62 - 2,38	0,24	$\frac{2,38}{0,24} = 9,9$	0,099	1,099
Säge- schnitt	3,24 - 2,96	0,28	$\frac{2,96}{0,28} = 10,6$	0,106	1,106

Tab. 16: Berechnung der Abbildungsvergrößerung:

Unter der Spalte Vergrößerungsfaktor ist abzulesen mit welchem Faktor die jeweils kleinere Meßstrecke multipliziert werden muß, um den Abbildungsunterschied durch die verschiedenen Fokus-Objekt-Abstände zu egalisieren. Dabei vergrößern sich die Abbildungen vom Säge-schnitt zum Präparat um das 0,1fache und vom Präparat zur Leiche um das 0,1fache.

Für mehrere unterschiedliche Film-Fokus- und Film-Objekt-Abstände hat SCHINZ (1965) (12) in einem Nomogramm die Vergrößerungsfaktoren zusammengestellt. Ein Vergleich der Vergrößerungsfaktoren mit den von SCHINZ angegebenen bestätigt vorliegende Ergebnisse (Abb. 35).

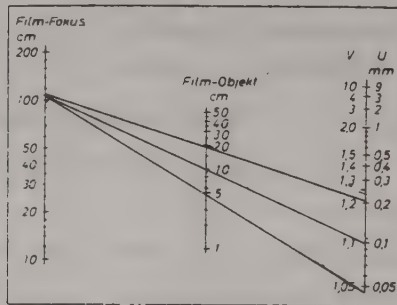


Abb. 35: Nomogramm nach SCHINZ mit Einzeichnung der hier verwendeten Werte

Für den in der vorliegenden Arbeit verwendeten Film-Fokus-Abstand von 1,10 m läßt sich anhand der Graphik von SCHINZ (siehe Abb. 35) bei einem Film-Objekt-Abstand von etwa 5 cm (Sägeschnitt) ein Vergrößerungsfaktor von etwa 1,0 ablesen, also praktisch keine Vergrößerung. Bei einem Film-Objekt-Abstand von 10 cm (Präparat) ergibt sich ein Vergrößerungsfaktor von 1,1 und bei einem Film-Objekt-Abstand von 20 cm (Leiche) ein Vergrößerungsfaktor

von 1,2. Es ergibt sich somit eine Steigerung der Vergrößerung um das 0,1fache vom Sägeschnitt zum Präparat und vom Präparat zur Leiche (Tab.17).

Film-Fokus Abstand (cm)	Film-Objekt- Abstand (cm)	Vergrößerungs- faktor
1,10	5 (Sägeschnitt)	1,0
1,10	10 (Präparat)	1,1
1,10	20 (Leiche)	1,2

Tab. 17: Vergrößerungsfaktoren ermittelt aus dem Nomogramm von SCHINZ. Es wurden die zur Herstellung der Röntgenbilder verwendeten Film-Fokus- und Film-Objekt-Abstände eingesetzt.

4.1.2 Präparationsbedingte Ursachen von Abbildungsveränderungen:

Der bei der Wirbelsäule in situ beschriebene muskuläre Zug und die vertikale Druckbelastung durch das Körpergewicht gehen zwangsläufig durch das Herauspräparieren

bei dem Präparat verloren. Der Gallertkern übt in Folge der ihm eigenen Sprengkraft einen gewissen Druck aus, der allerdings von seinem Wasseraufnahmevermögen abhängig ist. Faserringanteile und die Längsbänder bilden eine zirkuläre Fesselung, die durch den plötzlich fehlenden Zug und Druck in den meisten Fällen nachgibt (OTTE 1971) (9). Dieser Vorgang könnte eine Längsausdehnung des Wirbelsäulenpräparates zur Folge haben. Ein diesbezüglicher Vergleich der Mittelwerte der hinteren Wirbelkörperkantendistanzen von $L_{4/5}$ ergibt für die hier untersuchten Präparate einen Wert von 0,83 cm im Vergleich zu HURXTHAL (1968) (5) mit 0,74 cm und JUNG (1974) (7) mit 0,77 cm. Berücksichtigt man die 0,1fache Abbildungsverkleinerung von Leiche zu Präparat, dann erhöht sich der Wert von 0,83 cm auf 0,91 cm. Möglicherweise können die Unterschiede der Meßergebnisse einen Anhaltspunkt für die Größenordnung der Ausdehnung beim Präparat geben.

Die projektions- und präparationsbedingten Abbildungsdifferenzen wirken sich auf die Hinterkantendistanz, die Diskusfläche und den HURXTHAL-Index aus. Die Unterschiede sind beim Vergleich mit Meßergebnissen an der Wirbelsäule in situ zu berücksichtigen. Der NORDIN-Index wird hiervon nicht betroffen, da es sich um eine Verhältniszahl handelt, und er am knöchernen Teil (kein Einfluß der Präparation) gemessen wird.

4.2 Verlauf der Randleisten- und Endplattenkonturen am markierten Wirbelkörperpräparat

4.2.1 Randleistenverlauf bei orthograder Projektion:

Um im Röntgenbild die Deutung der Konturen, die aus verschiedenen Ebenen des abzubildenden Objektes auf den Film projiziert werden, zu erleichtern, wird immer die senkrechte Zentralprojektion angestrebt. Bei nicht exakter Justierung des Zentralstrahls oder mehr oder weniger stark geneigten Wirbelkörpern tritt eine Verzeichnung beziehungsweise Parallaxe des abzubildenden Objektes auf dem Film ein.

Daß bei orthograder Darstellung die Endplattenkonturen ins Wirbelkörperinnere projiziert werden, ist eine Folge der Konkavierung der Endplatten. Im Idealfall sind die Außenkonturen als eine Linie zu erkennen, während die Endplattenkonturen in den Wirbelkörper projiziert werden. Variiert der Verlauf der Außenkonturen, so kann eine Überlagerung mit der Endplattenkontur vorkommen wie in Abbildung 9, Seite 33, an der kranialen Endplatte zu erkennen ist.

Eine Erklärung hierfür liefert das verschiedenartige Niveau der Außenkonturen. Legt man einen Lendenwirbelkörper mit der Endplatte auf eine ebene Unterlage, so berühren die Randleisten nicht zirkulär die Unterlage. Die Endplatte hat vielmehr die Form eines Gewölbes, dessen Frontalebene offen ist (Abb. 36a und b, Seite 88).

Dementsprechend verlieren die Randleisten den Kontakt mit der Unterlage, so daß sie in einem weiten Bereich dem Verlauf der Endplattenkontur folgen und dadurch eine Überlagerung in der Profilaufnahme möglich wird.

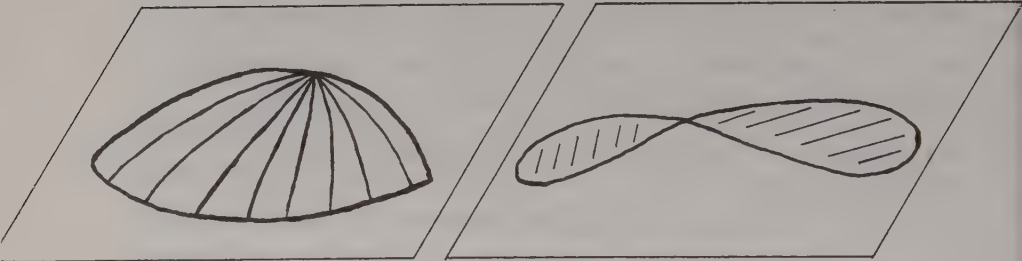


Abb. 36a und b: Konfiguration der Deckplattenkonkavität:

a) nicht bestätigte Vermutung: b) tatsächliche Form:

Modell einer Kuppel

Modell eines Gewölbes

4.2.2 Verlauf der Konturen bei parallaktischer Darstellung am gekippten Wirbelkörper:

Folgendes hat sich bei der Analyse gezeigt:

Die Endplattenkonturen werden nicht konstant durch die beiden innersten Linien repräsentiert. Ist der Wirbelkörper stark gekippt, werden die Endplattenkonturen

zwischen die elliptisch dargestellten Randleisten projiziert. Die am nächsten zur Wirbelkörpermitte projizierten Linien entsprechen dann der kranialen und kaudalen Randleistenhälfte. Entscheidend für die Position der Endplattenkonturen ist der Grad der Verkippung des Wirbelkörpers.

Die Projektionsverhältnisse ändern sich dabei nach dem Grundsatz, daß die plattenfernen Anteile des Wirbelkörpers im Bild stärker verschoben werden als die plattennahen im Vergleich zur orthograden Ausgangsposition. Wesentlich ist, daß bei einem gekippten Wirbelkörper die Objektebene nicht parallel zur Filmebene liegt. Eine Vergrößerung des Fokus-Objekt-Abstandes zum Zwecke einer annähernden Parallelprojektion bewirkt in diesem Fall keine abbildungsgenauere Darstellung. Dies wird nur durch eine exaktere Justierung des Zentralstrahles beziehungsweise Parallelisierung der Objektebene mit der Filmebene gelingen.

Durch die parallaktische Darstellung ist die Zuordnung der korrespondierenden Linien erschwert. Aus optischen Gründen besteht die Neigung, die jeweils prägnantesten Konturen (Erläuterung siehe weiter unten) einander zuzuordnen und eine entsprechende räumliche Anordnung zu folgern. So ist der Betrachter geneigt, die deutlicher hervortretenden Konturen in einer räumlichen Modellvorstellung einer gemeinsamen filmnahen Position zuzuordnen.

Diese Annahme wird jedoch durch die Verlaufsform der Drahtmarkierung in Abbildung 10, Seite 34, eindeutig widerlegt. Die wirklich miteinander korrespondierenden Linien können, wie im vorliegenden Beispiel, bei Paralaxe unterschiedlich gut markiert sein.

4.2.3 Identität der Binnenkontur mit der Endplattenkontur: In Abbildung 11, Seite 35, ist der Außenrand der Schlußplatte mit Draht markiert. Der tiefste Punkt der Schlußplatte ist nur durch einen Stecknadelkopf gekennzeichnet. Die Endplattenkontur ist eindeutig zu sehen, ohne daß sie speziell markiert ist. Sie verläuft durch den tiefsten Punkt, deutlich erkennbar am Stecknadelkopf. Damit ist nachgewiesen, daß die Endplattenkontur zumindest bei orthograde Projektion unabhängig von der Außenkontur sichtbar ist.

Daß die Außen- bzw. Randkonturen der Wirbelkörper im Röntgenbild deutlicher hervortreten als die übrige Wirbelkörperspongiosa oder die Zwischenwirbelscheiben, liegt an der Mineralisierung der Randleistenausläufer der Endplatten und der verkalkten Basalzone der Knorpelschicht. Die an dieser Stelle hindurchtretenden Röntgenstrahlen werden stärker absorbiert als in der Spongiosa, so daß eine stärker hervortretende Linie im Röntgenbild zu sehen ist. Zweifelsohne herrschen bei dem hier verwendeten Wirbelkörperpräparat idealere Bedingungen als bei Aufnahmen der Wirbelsäule in situ, wo der Weichteilmantel

eine gewisse Streuung und Absorption der Röntgenstrahlen bewirkt, wodurch die Prägnanz der Konturen verschlechtert werden kann.

4.3 Die mit dem Modell erzielten Projektionsfiguren

4.3.1 Orthograde Darstellung des Wirbelmodells:

Im Unterschied zum markierten Wirbelkörper läßt sich am untersuchten Drahtmodell die Verzeichnung um so geringer halten, je mehr sich mit Vergrößerung der Fokus-Objekt-Distanz eine Parallelprojektion ergibt.

Ohne störende Schatten und Absorptionen läßt sich am Modellversuch die Projektionsverschiebung der Konturen verfolgen. Wie schon beim markierten Wirbelkörperpräparat projizieren sich die Endplattenkonturen bei orthogradem Strahlengang als Binnenkonturen ins Wirbelkörperinnere, die Außenkonturen bilden eine Linie.

4.3.2 Verzeichnung bei paralleler Objekt- und Filmebene:

Bei Vertikalverschiebung lassen sich an dem untersuchten Drahtmodell die Außenkonturen in ihrem Verlauf leicht diagnostizieren, da sie kenntlich gemacht sind. Dies ist jedoch bei einer Wirbelsäule in situ nicht möglich. Es fragt sich, ob sich die aus dem Versuch gewonnenen

Erkenntnisse auf die Situation der Wirbelsäule in situ übertragen lassen?

Das Problem betrifft einmal die Unterscheidungsmöglichkeit der plattennahen und plattenfernen Randleistenkonturen, zum anderen hauptsächlich die Erkennung der Endplattenkonturen. Zwei Deutungsmöglichkeiten sind denkbar:

1. Prägnanz durch Plattennähe

2. Prägnanz durch Summationseffekt

Am Modellversuch kann der Einfluß der Strahlenabsorption und Abweichungen durch Weichteilgewebe und Wirbelkörper-spongiosa nicht geklärt werden. Es ist lediglich zu erkennen, daß bei leichter Verzeichnung irgendwann der Punkt eintritt, bei dem sich die Endplattenkonturen mit den Randleisten- oder Außenkonturen überlagern. Dies könnte theoretisch an einem natürlichen Wirbelkörper auch zu einer verstärkten Kontur führen. Zu beachten ist dabei, daß sich die Endplattenkonturen mit unterschiedlichen Außenkonturen überlagern. Auf einer Seite sind sie deckungsgleich mit der plattenfernen, auf der anderen Seite mit der plattennahen Außenkontur, so daß hierdurch jeweils eine Binnenkontur entsteht. Kommen solche Fälle im Röntgenbild des natürlichen Wirbelkörpers vor, dann treten die beiden innersten Konturen häufig gleichmäßig deutlich hervor.

Dies zeigt also, daß eine plattennahe Kontur nicht unbedingt eine stärker markierte Kontur ergibt und somit

bei Konturen der Wirbelsäule in situ eine Schlußfolgerung prägnant = plattennah keine sichere Konturenauswahl erlaubt. NEGRU (1943) (8) wies mit Hilfe eines ausgehöhlten Wirbelkörpers nach, daß eine plattenferne oder plattennahe Position keinen Einfluß auf die Prägnanz der Randleistenkonturen hat.

Solange der Wirbelkörper in orthograder Projektion dargestellt ist, besteht die Möglichkeit die Endplattenkonturen zu erkennen. Wie aber soll die maximale Zwischenwirbelraumausdehnung (= Meßstrecke für HURXTHAL-Index) gefunden werden, wenn bei Verzeichnung die Endplattenkonturen sich mit den Außenkonturen überlagern?

In dieser Position sind die Endplatten in Form eines flachen Ovals projiziert. Kann man nun die in Binnelage befindlichen Außenkonturen als repräsentativ für die Begrenzung des Diskus annehmen?

Untersucht man nun in den Abbildungen 12, 13a/b, 14, Seite 36, 37, 38 die Distanz der Endplattenkonturen zwischen Modell und Schattenbild, so läßt sich feststellen, daß diese sich trotz Verzeichnung nicht verändert. Im Gegensatz dazu findet man verändert projizierte Außenkonturen. Dies läßt sich damit erklären, daß die Endplattenkonturen, die in der Objektebene repräsentiert sind, bei einer parallaktischen Darstellung nicht verschoben werden, vorausgesetzt die Objektebene ist parallel zur Filmebene. Nach den Projektionsgesetzen bewirkt die Schrägprojektion

keine Vergrößerung beziehungsweise Verkleinerung bei flachen Objekten, wenn man sich in diesem Fall die Objekzebene als dünne Scheibe, begrenzt von den Endplattenkonturen, vorstellt. Im Gegensatz dazu werden die plattenfernen und plattennahen Anteile der Außenkonturen stärker beziehungsweise schwächer verschoben.

Für die praktische Nutzanwendung bedeutet dies, daß bei Überlagerung der Endplattenkonturen mit den Randleisten- oder Außenkonturen diese stellvertretend repräsentativ für die Endplattenkonturen sind. Denn nicht die Endplattenkonturen verändern sich bei Schrägprojektion, sondern die Außenkonturen. Unbedingte Voraussetzung dabei ist jedoch, daß die Objekzebene parallel zur Filmebene verläuft.

4.4 Radiometrie und Deutung der repräsentativen Konturen mit Hilfe des Sägeschnittes

4.4.1 Vorkommen von Projektionsformen im vorliegenden Versuchsgut:

Häufig wird bei Übersichtsaufnahmen durch irgendwelche Überlagerungen eine einwandfreie Beurteilung von topographischen Verhältnissen erschwert. Die Schwierigkeiten einer einwandfreien Darstellung von Konturen können durch Schichtaufnahmen weitgehend überwunden werden.

Diesen Zweck erfüllen in dem vorliegenden Modellversuch speziell angefertigte Sagittalschnitte der Lendenwirbelsäulenpräparate.

Werden die Röntgenprofilaufnahmen eines Präparates und davon wieder der des Sägeschnittes übereinandergelegt, dann sind beide Aufnahmen nicht genau deckungsgleich. Hier muß berücksichtigt werden, daß die 10 mm dicke Sektionsscheibe in ihrem bindegewebigen Sektor nicht mehr so stark fixiert ist, wie das beim Wirbelsäulenpräparat noch der Fall war, so daß eine teilweise starke Divergenz vorliegt. Da hauptsächlich jedoch der knöcherne Anteil der Sägeschnitte zum Vergleich herangezogen wurde, spielt diese Divergenz eine untergeordnete Rolle.

Wie aus Tabelle 3, Seite 44 zu ersehen ist, wurden in den meisten Fällen am nächsten zur Wirbelkörpermitte hin verlaufende Konturen als repräsentativ für den Verlauf der Endplatten im Wirbelkörperzentrum gefunden. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, daß eine Abbildungsverkleinerung vom Präparat zum Sägeschnitt vorliegt, was einer subjektiven Bevorzugung der inneren Konturen Vorschub leisten könnte. Grundsätzlich fand deshalb die Orientierung über den Konturenverlauf an der Profilaufnahme der Wirbelsäulenpräparate statt. Undeutlicher oder zweifelhafter Konturenverlauf konnte mit Hilfe des Sektionsschnittes geklärt werden. In eindeutigen Fällen wurde der Verlauf mit dem Sägeschnitt kontrolliert.

Es müssen dabei die ventralen und dorsalen Begrenzungslinien des Wirbelkörpers und die Kontinuität dieser Linien in beiden zusammengehörenden Aufnahmen berücksichtigt werden. Diese gehen im Präparat oft ohne Unterbrechung in die kranialen und kaudalen Randleistenkonturen über und sind dann eine weitere Orientierungshilfe zum Erkennen der Endplattenkontur.

4.4.2 Prägnanz der Konturen:

Auffallend bei der Beurteilung der Röntgenbilder war, daß die am häufigsten anzutreffenden bikonkaven Binnenkonturen als Repräsentanten der Endplattenkonturen gleichzeitig auch meist die prägnantesten waren. Da, wie oben schon ausgeführt, die Filmnähe oder Filmferne nicht unbedingt für die röntgenologische Dichte der inneren Konturen verantwortlich ist, läßt sich dieser Effekt als Folge eines Summationsschattens erklären.

Wie man weiß, hängt der Schwärzungsgrad neben einer Reihe von technischen Faktoren, wie Härte der Röntgenstrahlen, Röhrenabstand von Film und Objekt, Belichtungsintensität, von der Struktur des Knochens, dem Anteil von Kompakta und Spongiosa und schließlich von der Absorption der Röntgenstrahlen beim Durchtritt durch das Objekt ab. Dabei ergeben die einzelnen Abschnitte des Knochens, die von dem Strahlenbündel durchdrungen werden, als Addition der Weglängen unterschiedliche Absorptionsgrade.

Auf den Wirbelkörper angewandt, stelle man sich vor, daß er in viele, gleich dicke, sagittale Scheiben geschnitten ist. Es erscheint plausibel, daß diejenige Form der Scheibe, die am häufigsten entsteht, den größten Teil der durchtretenden Röntgenstrahlen absorbiert. Die Übersichtung dieser zahlreichen, gleichartigen Scheiben liefert den gleichen Aspekt wie ein Schnitt durch eine einzelne Schicht. Diese ist identisch, zumindest bei orthograder Projektion, mit der Fläche, die bei einem Schnitt in der Sagittalebene durch die Mitte des Wirbelkörpers zu sehen ist. Der Verlauf der Endplatte in der Mitte des Wirbelkörpers wird also durch diese Schicht repräsentiert.

Eine auffallende Prägnanz der bikonkaven Binnenkonturen wird auch von NEGRU (1943) (8) beschrieben. Er gibt als Ursache ebenfalls den Summationsschatten der von den Röntgenstrahlen projizierten Spongiosabälkchen an, wobei er jedoch lediglich den Verlauf der Randleistenkonturen beschreibt.

4.4.3 Zwischenwirbelraumausdehnung bei parallaktischer Konturendarstellung:

Da bei parallaktischer Darstellung die Endplattenkonturen an Prägnanz verlieren, ist eine Bestimmung der Zwischenwirbelraumausdehnung ohne Hilfsmittel wie Schichtaufnahmen oder, wie im vorliegenden Modellfall, Sektionsschnitte erschwert. Für den Fall, daß die Endplattenkontur nicht

zu erkennen ist, kann eine Zuordnung der Binnenkontur als Endplattenkontur bedingt in Frage kommen. Nämlich dann, wenn sie sich mit der Außenkontur überlagert hat und die Objektebene parallel zur Filmebene verläuft.

Wie aus Tabelle 3, Seite 44, zu ersehen ist, sind bis zu diesem Projektionsmuster die weitaus größere Zahl von Fällen erfaßt. Beispiele mit noch stärkerer Verzeichnung, gemeint ist eine Position beider Endplattenkonturen zwischen den elliptisch dargestellten Randleisten, sind eine Minderheit.

HURXTHAL (1968) (5) nannte ebenfalls bei seinen radio-metrischen Untersuchungen des Zwischenwirbelraumes verschiedene Variationsmöglichkeiten der Konturendarstellung. Im Unterschied zur vorliegenden Arbeit, wo die Meßwerte mit Hilfe der Sagittalschnitte bestimmt wurden, gab er die Wirbelkörperzentrumshöhe bei nicht genau zentrierten Wirbeln als arithmetisches Mittel der plattennahen und plattenfernen Randleistendistanzen eines Wirbelkörpers an. Zur Bestimmung der größten Diskushöhe halbiert er die Strecke zwischen plattennaher und plattenferner Randleistenhälfte bei zwei benachbarten Endplatten. Die Verbindungslinie der Halbierungspunkte ergibt die Zwischenwirbelraumhöhe.

Bei dieser Meßmethode bleibt eine Konkavierung der Endplatten unberücksichtigt, da nur die Randleisten als

Orientierung der Zwischenwirbelraumausdehnung berücksichtigt werden. Dieser Nachteil kann nur durch die zusätzliche Anfertigung einer Schichtaufnahme ausgeglichen werden.

4.5 Statistische Auswertung

4.5.1 Korrelation der Meßwerte mit dem Alter:

Mit Hilfe der Sägeschnitte bestand die Möglichkeit experimentell die gesuchte Zwischenwirbelraumausdehnung zu überprüfen, beziehungsweise aus dem Modellfall Richtlinien abzuleiten, die auch für die Wirbelsäule in situ zutreffen. Es müßte sich erweisen, daß bei den so gedeuteten Röntgenbildern ein vernünftiger Zusammenhang zwischen den Meßwerten der Indices, der Diskusflächen und Hinterkantendistanzen besteht.

4.5.1.1 Korrelation des NORDIN-Index mit dem Alter:

Die negative Korrelation NORDIN-Index zu Alter besagt, daß im vorliegenden Kollektiv mit zunehmendem Alter der NORDIN-Index kleiner, also im Sinne NORDINS pathologischer wird. Mit wachsendem Alter geht also eine vermehrte Konkavierung der Endplatten einher. Diese bikonkave Eindellung ist eine fast obligate Erscheinung der Osteoporose. Eine Osteoporosezunahme in Abhängigkeit vom Alter wurde von JESSERER (1965) (6), WIETEK (1971) (16)

und, neben anderen Autoren, auch von NORDIN (1960) (1) beschrieben, der in seinem Kollektiv die Mehrheit der Osteoporosefälle in den älteren Altersklassen antraf. Es erscheint somit plausibel, daß diese Korrelation einen altersmäßigen Vorgang ausdrückt, die mit den Beobachtungen anderer Autoren übereinstimmt. Es sei hier noch betont, daß eine Beurteilung der Pathologie und der Ätiologie der untersuchten Fälle nicht beabsichtigt und auf Grund des experimentellen Teiles auch nicht möglich ist. Es wurde deshalb nicht untersucht, ob und wieviele Fälle aus dem Kollektiv unter eine Osteoporose einzustufen sind.

4.5.1.2 Korrelation der Hinterkantendistanz mit dem Alter:

Die negative Korrelation zwischen der Hinterkantendistanz und dem Alter beschreibt mit zunehmendem Alter eine kleiner werdende Hinterkantendistanz. Dieser Prozeß der altersmäßigen physiologischen Diskusdegeneration wurde von mehreren Autoren beschrieben, so daß auch die hier gefundene Korrelation der Meßergebnisse von Hinterkantendistanz zu Alter mit den Beobachtungen anderer Autoren übereinstimmt.

4.5.1.3 Korrelation der Diskusfläche mit dem Alter:

Es ergibt sich keine signifikante Korrelation, was auch unter Berücksichtigung der beiden vorherigen Korrelationen nicht zu erwarten ist. Einmal geht eine sinkende Hinterkantendistanz und Diskusdegeneration mit einer

Volumenverminderung einher, zum anderen eine Konkavierung meist mit einer Volumenvermehrung des Zwischenwirbelraumes. Eine signifikante Flächenvergrößerung oder Verkleinerung bei zunehmendem Alter wäre in diesem Zusammenhang unlogisch. Es müßte hierbei eine Trennung des Kollektivs unter dem Gesichtspunkt der pathologischen Veränderungen in gleiche Gruppen vorgenommen und die Fälle dieser Gruppen dann mit dem Alter korreliert werden. Eine Einteilung nach pathologischen Merkmalen war jedoch hier nicht möglich.

4.5.1.4 Korrelation des HURXTHAL-Index mit dem Alter:

Auch hier ergibt sich keine Signifikanz. Die Gründe sind ähnlich wie bei der nicht signifikanten Korrelation Diskusfläche gegen Alter. Der HURXTHAL-Index wird von zwei Faktoren bestimmt: einmal von der Diskusfläche beziehungsweise Diskushöhe, zum anderen von der Wirbelkörperzentrumshöhe. Da die Diskusfläche im Gesamtkollektiv nicht mit dem Alter korreliert, ergibt sich auch hier erwartungsgemäß keine Korrelation.

4.5.2 Korrelation der Meßwerte untereinander:

4.5.2.1 Korrelation des NORDIN-Index mit dem HURXTHAL-Index:

Beide Indices bezeichnen eine Massenausdehnung der Zwischenwirbelscheiben, wenn auch durch verschiedene Komponenten. Eine Abnahme der NORDIN-Indexzahlen bezeichnet

indirekt eine Massenzunahme der Zwischenwirbelscheiben als Folge einer Abnahme der Wirbelkörperzentrumshöhe. Diesem Vorgang müßte eine Zunahme der HURXTHAL-Indexzahl entsprechen, die, als eine von zwei Komponenten eine Zunahme der Diskushöhe bezeichnet. Eine Bestätigung hierfür ist die negativ signifikante Korrelation der beiden Indices, bei der ein wachsender NORDIN-Index mit einem sinkenden HURXTHAL-Index korreliert.

4.5.2.2 Korrelation des NORDIN-Index mit der Diskusfläche:
Bei einer Abnahme der NORDIN-Indexzahlen wird die Diskusfläche größer. Diese negativ signifikante Korrelation ist eine Bestätigung für die zuvor erwähnte Massenzunahme des Zwischenwirbelraumes bei kleiner werdender NORDIN-Indexzahl. Eine Zunahme der Fläche hängt mit einer Zunahme der Konkavierung zusammen. Die Beziehung zum NORDIN-Index zeigt, daß bei Konkavierung ein Höhenzuwachs der Zwischenwirbelscheibe stattfindet, beziehungsweise eine dicker werdende Diskusscheibe nicht unabhängig von einer Wirbelverformung auftritt.

4.5.2.3 Korrelation des HURXTHAL-Index mit der Diskusfläche:

Es muß berücksichtigt werden, daß die Flächenausdehnung des Diskus' nicht nur von der Diskushöhe, sondern auch von der Ausdehnung des Wirbelkörpers in horizontaler Richtung abhängig ist.

Die Korrelation HURXTHAL-Index mit Fläche besagt, daß eine größer werdende Fläche mit einer wachsenden HURXTHAL-Indexzahl korreliert. Dies ist logisch, da ein größer werdender, also über dem Grenzwert liegender HURXTHAL-Index eine Zwischenwirbelraumerweiterung ausdrückt.

Da der HURXTHAL-Index jedoch keine eindeutige Aussage zuläßt, welche Komponente a) die Diskushöhe oder b) die Wirbelkörperzentrumshöhe verändert ist, muß die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß eine Flächenzunahme nicht allein in vertikaler sondern auch in horizontaler Richtung erfolgt sein kann.

Voraussetzung hierfür wäre ein Breitenwachstum des Wirbelkörpers wie es von FISCHER und GIERE (1970) (3) beschrieben wurde. Sie stellten bei ihren Messungen an Röntgenbildern der Brust- und Lendenwirbelsäule ein appositionelles Dickenwachstum der Wirbelkörper fest. In ihrem Untersuchungsgut fanden sie sowohl bei Männern als auch bei Frauen eine Breitenzunahme aller gemessener Wirbelkörper mit zunehmendem Alter.

Die Beziehung NORDIN-Index zu Diskusfläche zeigt also mehr eine Höhenzunahme der Diskusflächen an, während bei der Korrelation HURXTHAL-Index zu Fläche auch eine Flächenausdehnung in horizontaler Richtung nicht ausgeschlossen werden kann.

4.5.2.4 Korrelation des HURXTHAL-Index mit der Hinterkantendistanz:

Zunächst ist diese Korrelation nicht signifikant. Sie wird es erst durch Eliminierung eines Falles mit starker Konkavierung beziehungsweise Deckplatteneinbruch. Dies kann zum Anlaß genommen werden, die Charakteristik der Zwischenwirbelraumveränderung, ausgedrückt durch den HURXTHAL-Index, zu verdeutlichen.

Die signifikante Korrelation zwischen HURXTHAL-Index und Hinterkantendistanz besagt, daß mit größer werdendem HURXTHAL-Index auch die Hinterkantendistanz wächst. Dies erscheint einleuchtend, denn die Hinterkantendistanz gilt, wie später noch ausführlich beschrieben wird, als Kriterium einer Zwischenwirbelraumerweiterung durch Liftung der Wirbelkörper. Diese Erweiterung wird auch durch den größer werdenden HURXTHAL-Index signalisiert. Einschränkend muß jedoch gesagt werden, daß eine Veränderung der Relation Diskushöhe zu Wirbelkörperzentrumshöhe, hervorgerufen durch eine Konkavierung oder Liftung, vom HURXTHAL-Index alleine nicht abgelesen werden kann. Insofern ist er unspezifisch.

Eine differenzierte Betrachtung der Korrelation HURXTHAL-Index zu Hinterkantendistanz und auch der dazugehörigen Abbildung 32, Seite 67 zeigt, daß, wie schon erwähnt, unter Einbezug des Extremfalles Nr. 11 keine Korrelation zustande kommt. Dieser Fall zeichnet sich weniger durch

eine extrem niedrige Hinterkantendistanz als vielmehr durch eine niedrige Wirbelkörperzentrumshöhe aus. Auffallend ist in Abbildung 32, Seite 67, daß die HURXTHAL-Indexwerte sich fast alle in dem für das vorliegende Material berechneten Normbereich befinden und so mit der größer werdenden Hinterkantendistanz korrelieren. Ein "stark pathologischer" HURXTHAL-Index, das heißt ein Wert über der doppelten Standardabweichung, tut dies nicht. Die Vermutung liegt nahe, daß ein nur "leicht pathologischer" HURXTHAL-Index eher eine Liftung anzeigt und erst Werte weit jenseits des pathologischen Grenzwertes, wo auch immer er festgelegt wird, eine stärkere Konkavierung anzeigen.

Ein sich vergrößernder HURXTHAL-Index scheint also vor einer starken Konkavierung des Wirbelkörpers eine Bandscheibenexpansion anzuzeigen. Eine ähnliche Ansicht findet sich auch bei JUNG (1974) (7), für den ein HURXTHAL-Index im pathologischen Bereich weniger auf einer Konkavierung des Wirbelkörpers als vielmehr auf einer Vergrößerung der Bandscheibenhöhe beruht.

4.5.2.5 Korrelation des NORDIN-Index mit der Hinterkantendistanz:

Diese Korrelation bestätigt ebenfalls prinzipiell die Richtigkeit der Meßergebnisse und zwar gerade deshalb, weil sie nicht signifikant ist.

Wie schon zuvor erwähnt, ist die Korrelation HURXTHAL-Index zur Hinterkantendistanz unter Einbeziehung des Falles mit extremer Endplattenkonkavierung ebenfalls nicht signifikant. Logischerweise ist dann auch keine signifikante Beziehung zwischen Hinterkantendistanz und dem NORDIN-Index vorhanden, da der NORDIN-Index, gebildet aus dem Quotienten Wirbelkörperzentrumshöhe und Wirbelkörperpervorderhöhe, als Maß für eine Konkavierung der Endplatten gilt.

4.5.2.6 Korrelation der Diskusfläche mit der Hinterkantendistanz:

Diese positiv signifikante Korrelation ist gekennzeichnet durch eine größer werdende Fläche bei einer Zunahme der Hinterkantendistanz. Zwei Möglichkeiten als Erklärung hierfür sind denkbar: einmal handelt es sich um Wirbelkörper, die im Vergleich zu durchschnittlichen Wirbelkörpern einen Größenunterschied aufweisen und damit verbunden höhere Zwischenwirbelräume besitzen, zum anderen liegt eine Massenzunahme der Diskusfläche vor, primär angezeigt durch die erhöhte Hinterkantendistanz. Diese wiederum ist eines der charakteristischen Merkmale für eine Liftung der Wirbelkörper, das heißt, die Massenzunahme der Diskusfläche erfolgt hierbei hauptsächlich durch Liftung der Wirbelkörper.

Die Korrelationen zeigen, daß ein sinnvoller plausibler Zusammenhang zwischen den einzelnen Meßergebnissen besteht. Dies ist auch gleichzeitig eine Bestätigung für die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Meßpunkte.

4.5.3 Anwendung von statistischen Merkmalkombinationen zur differenzierten Untersuchung der Zwischenwirbelraumausdehnung im Einzelfall:

Die erörterten Ergebnisse wurden überprüft, ob sich auch im Einzelfall die Modellvorstellungen bewahrheiten. Zu dieser Überprüfung wurden Werte der verschiedenen Parameter diesseits und jenseits des gemeinsamen Grenzwertes der einfachen beziehungsweise halben Standardabweichung zusammengestellt, wobei im günstigsten Fall zu erwarten war, daß es Beispiele dafür gibt, in denen die Werte der Diskusflächen, Hinterkantendistanzen und NORDIN-Indexzahlen gemeinsam über dem festgelegten Grenzwert liegen. Die Kombination dieser drei Parameter ermöglicht eine differenzierte Untersuchung der Zwischenwirbelraumerweiterung.

Neben dem bekannten Vorgang der Deckplattenkonkavierung kommt die von OTTE (1972, 1974) (10, 11) beschriebene Liftung der Wirbelkörper als Möglichkeit der Zwischenwirbelraumerweiterung in Betracht. Grundlage hierfür bildet OTTES Hinweis, daß der Prozeß, der der Osteoporose

zugrunde liegt, sich nicht nur auf den Knochen beschränkt, sondern darüber hinaus sich auch auf die bindegewebigen Strukturen ausdehnt. Wesentlich ist sein Hinweis, daß die Volumenvermehrung der Bandscheibe nicht nur eine Folge der Eindellung der Wirbelkörperendplatten ist, sondern der Zwischenwirbelraum kann bei intakten Wirbelkörpern erweitert sein. Daraus resultiert eine Liftung der Wirbelkörper, signifikant nachweisbar in einer Vergrößerung der Distanzen der Wirbelkörperhinter- und -vorderkanten. Bei dieser vertikalen Liftung der Wirbel überwindet der Expansionsdruck des Diskus' die ventralen Bandwiderstände offenbar leichter als die dorsalen. Die Folge ist eine lordosierende Aufspreizung des Zwischenwirbelraumes. Der Drehpunkt des Bewegungssegmentes verlagert sich dabei nach dorsal. Für die Beurteilung der Zwischenwirbelraumerweiterung ist deshalb die Veränderung der Wirbelkörperhinterkantendistanz zuverlässiger als die der Vorderkanten (OTTE 1972) (10).

Damit wäre die erste Voraussetzung, nämlich eine vergrößerte Hinterkantendistanz für den Modellfall einer Liftung gegeben. Eine weitere Grundvoraussetzung für eine Zwischenwirbelraumerweiterung ist für alle Prüffälle eine übernormal vergrößerte Diskusfläche. Ein zusätzlich erforderliches Kriterium zur Charakterisierung der Dynamik des Zwischenwirbelraumgeschehens ist der NORDIN-Index, der je nach statistischer Klassifikation eine Konkavierung anzeigt oder ausschließt.

Da der HURXTHAL-Index sich aus den Komponenten Diskushöhe und Wirbelkörperzentrumshöhe zusammensetzt und nicht schlüssig unterschieden werden kann, welche der beiden Komponenten stärker verändert ist, soll er zur Beurteilung der Zwischenwirbelraumveränderung unberücksichtigt bleiben.

Durch die Kombination der einzelnen Prüfpunkte wie vergrößerte Diskusfläche, erweiterte Hinterkantendistanz und ein NORDIN-Index, der eine Konkavierung weitgehend ausschließt, ist eine Selektion der Prüffälle, die nach der Modellvorstellung eine Liftung darstellen, weitgehend gewährleistet.

Betrachtet man nochmals die Ergebnisse in Tabelle 12 und 13, Seite 75 und 76, dann stellt man fest, daß bei Selektion nach der einfachen Standardabweichung kein Fall von Liftung vorkommt. Dies ist mit der Modellvorstellung vereinbar, da bei initialer Bandscheibenvergrößerung nicht gleich eine größere Zwischenwirbelraumerweiterung zu erwarten ist. Bei einer Reduzierung des gemeinsamen Grenzwertes auf die halbe Standardabweichung treten dann zwei Fälle von Liftung auf (Tab. 14, Seite 78).

Insgesamt lassen sich die Prüffälle in vier Gruppen einteilen:

1. Fälle mit Liftung
2. Fälle mit Konkavierung
3. Mischfälle
4. Fälle mit Breitenwachstum

Bei der ersten und zweiten Gruppe handelt es sich um Fälle, die alle geforderten Bedingungen erfüllen und eine reine Konkavierung oder Liftung bezeichnen. Bei der dritten Gruppe hat jeder Fall eine vergrößerte Fläche, erfüllt aber darüber hinaus nur noch eine Bedingung, entweder eine erweiterte oder verringerte Hinterkantendistanz oder einen erniedrigten NORDIN-Index. Hier sind die Merkmale also gemischt verteilt. Die Beispiele der vierten Gruppe sind monosymptomatisch, sie besitzen nur eine vergrößerte Fläche. Dies spricht nicht gegen die Meßtechnik, da in diesen Fällen das Breitenwachstum des Wirbelkörpers stärker in Erscheinung treten kann. Hierzu sei nochmals auf das von FISCHER und GIERE (1970) (3) beschriebene appositionelle Dickenwachstum der Wirbelkörper hingewiesen. Das kann jedoch nicht verallgemeinert gelten, da die Korrelation Diskusfläche mit Alter nicht signifikant ist (Tab. 8, Seite 63).

Die Ergebnisse zeigen, daß die modellhafte Konstellation aus Diskusvergrößerung, erweiterter Hinterkantendistanz und geringer Konkavierung der Endplatten nicht mit der erwarteten Häufigkeit auftritt. Da es sich hierbei um ein Durchgangsstadium handelt, ist die Zahl der Fälle, die unter dieses Stadium einzuordnen sind, gering. Im Gegensatz dazu treten die Fälle vor und hinter dem Liftungszustand häufiger auf.

5. Z U S A M M E N F A S S U N G

1. Einleitend wird das Problem, auf Röntgenaufnahmen die Konkavierung der Wirbelkörperendplatten zu erkennen, dargestellt. Es wurde versucht, experimentell die Projektion der repräsentativen Konturen für die Zwischenwirbelraumausdehnung abzugrenzen.

2. Zur Demonstration der Umriß- und Binnenkonturen wurde ein speziell präparierter Wirbelkörper geröntgt. Die verschiedenen Projektionsformen der Konturen bei orthograder und verzeichneter Projektion wurden an einem Wirbelmodell aus Draht veranschaulicht.

3. Die Verschiedenartigkeit der Zwischenwirbelraumveränderungen wurde an 50 Röntgenpräparaten der Lendenwirbelsäule bei $L_{4/5}$ untersucht. Es wurden der NORDIN-Index, der HURXTHAL-Index, die Hinterkantendistanz und die Diskusfläche radiometrisch berechnet. Die objektiven Meßpunkte zur Bestimmung der Diskusausdehnung im Wirbelkörperzentrum wurden mit Hilfe von Medianschnitten als "experimentelle Schichtaufnahmen" aus den 50 Präparaten ermittelt.

4. Die Untersuchung hat zu folgenden Ergebnissen geführt:
In der Profilaufnahme des Wirbelkörpers decken sich bei orthograder Darstellung die Randleistenkonturen. Die Endplattenkontur wird in den Wirbelkörper hineinprojiziert.

Ist die Form der Endplatte nicht kuppelartig sondern eher gewölbeähnlich, überlagern sich bei orthograder Projektion die Randleistenkonturen mit der Endplattenkontur.

5. Bei parallaktischer Darstellung korrespondieren, unabhängig von der Prägnanz der Konturen, die bikonkaven Linien miteinander ($\smile$). Sie repräsentieren die Endplattenkonturen im Unterschied zu den konvex-konkaven ($\frown$) und den konkav-konvexen ($\smile$) Linien, die die Außenkonturen der Endplatten darstellen.

6. Bei Schrägprojektion ist die Position der Endplattenkontur abhängig von der Variablen der Vertikaldistanz zum Zentralstrahl und der Variablen der Endplattenkonkavierung.

7. In dem vorliegenden Untersuchungsgut wird die Endplattenkontur am häufigsten in Binnenlage, das heißt im Vergleich zu anderen Konturen am nächsten zur Wirbelkörpermitte projiziert.

8. Die Zuordnung der projektionsbedingten Konturen zu der tatsächlichen räumlichen Anordnung ist Voraussetzung für eine Festlegung objektiver Meßpunkte bei der Radiometrie.

Die nach diesen Gesichtspunkten ermittelten Meßdaten ergeben signifikante Korrelationen bei Diskusfläche - Alter, Hinterkantendistanz - Alter, NORDIN-Index - HURXTHAL-Index, Diskusfläche - HURXTHAL-Index, Diskusfläche - NORDIN-Index, Diskusfläche - Hinterkantendistanz und HURXTHAL-Index - Hinterkantendistanz.

Es besteht ein logischer und plausibler Zusammenhang bei den einzelnen Korrelationen, womit die hier angewandten Meßpunkte bestätigt werden.

9. Abschließend werden die 50 Fälle auf eine Zwischenwirbelraumerweiterung unter dem Aspekt der Liftung der Wirbelsegmente oder der Konkavierung der Endplatten untersucht. Die Differenzierung erfolgt nach statistischen Kriterien. Neben dem hypothetischen Fall von Liftung und dem Fall von Konkavierung kommen in der Mehrzahl Fälle mit gemischten Merkmalen vor.

6. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Barnett, E. The radiological Diagnosis of Osteo-
Nordin, B. E. C. porosis
Clin. Radiol. 11 (1960) 166
2. Barnett, E. Radiological Assessment of the
Nordin, B. E. C. bone density
Brit. J. Radiol. 34 (1961) 683
3. Fischer, E. Größenänderungen von Skelett-
Giere, W. schnitten der Wirbelsäule und der
unteren Extremität im Erwachsenen-
alter bei Männern und Frauen
Zschr. Orthop. 107 (1970) 620
4. Goihl, M. L. Radiometrische Untersuchungen zum
Normalverhalten der unteren lumbalen
Zwischenwirbelräume
Inauguraldissertation, Hamburg (1971)
5. Hurxthal, L. M. Measurement of anterior vertebral
Compressions and biconcave Vertebrae
Am. J. Roentgenol. Radium Ther.
Nucl. Med. Vol. 103, No. 3 (1968) 635
6. Jesserer, H. Osteoporose,
Pathogenese, Klinik und Therapie
Wiener Klin. Wschr. 77 (1965) 70

7. Jung, P. W. Radiometrische Untersuchungen der Zwischenwirbelräume L_3/L_4 und L_4/L_5 bei Osteoporose
Inauguraldissertation Mainz (1974)
8. Negru, D. Über einige Besonderheiten der normalen Wirbelkörper im Röntgenbilde und ihre Erklärung
Fortschr. Rö-Strahlen, 68 (1943) 73
9. Otte, P. Radiologisches Verhalten der Zwischenwirbelräume
Verh. Dtsch. Ges. Orthop. Traumat. 57. Kongr. (1971) 239
10. Otte, P. Die orthopädische Problematik der präsenilen Osteoporose
Zschr. Rheumaforschung 31 (1972) 388
11. Otte, P. Biomechanische Aspekte der präsenilen Osteoporose
Orthop. Praxis 5 (1974) 271
12. Schinz, H. R. Lehrbuch der Röntgendiagnostik
Baensch, W. E. Allgemeine Grundlagen und
Frommhold, W. Methoden
Glauner, R. Stuttgart (1965) 11
Uehlinger, E.
Wellauer, J.

13. Schlungbaum, W. Medizinische Strahlenkunde
Berlin (1970) 165
14. Schmorl, G. Beiträge zur pathologischen
Anatomie der Wirbelbandscheiben und
ihre Beziehung zu den Wirbelkörpern
Arch. orthop. Chir. 29 (1931) 389
15. Siegelman, S. Osteoporosis: the state of the art.
A symposium report
Barzel u.s. (Hrsg.)
Amer. J. Clin. Nutr. 23 (1970) 833
16. Wietek, S. Die Formveränderungen der Zwischen-
wirbelräume der unteren Lenden-
wirbelsäule bei beginnender
Osteoporose
Inauguraldissertation, Hamburg (1971)

An dieser Stelle möchte ich ganz besonders Herrn Professor Dr. P. OTTE für die Anregung und die Beratung bei der Erstellung dieser Arbeit danken.

Die statistische Bearbeitung der Meßergebnisse erfolgte im Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Mainz (Direktor Prof. Dr. KOLLER) unter Anleitung von Frau Diplomphysikerin I. HAHN.

Die für den experimentellen Teil dieser Arbeit benötigten Wirbelsäulenteilstücke wurden freundlicherweise vom Pathologischen Insitut der Universitätsklinik Mainz (Direktor Prof. Dr. MEYER) zur Verfügung gestellt.

Außerdem bedanke ich mich für das freundliche Entgegenkommen bei der Anfertigung der Röntgenbilder im Institut für Klinische Strahlenheilkunde (Direktor Prof. Dr. DIETHELM) der Universitätsklinik Mainz.

Lebenslauf

Geboren am 16. Januar 1946 in St. Ingbert/Saar.

Besuch des Gymnasiums in Neunkirchen/Saar, anschließend des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart bis zum Abitur im März 1966.

Beginn des Zahnmedizinstudiums an der Universität Mainz im WS 1966, Physikum im Februar 1970, Staatsexamen im Oktober 1972.

Approbation erhalten am 15. Dezember 1972.

Danach drei Monate Assistenz Zahnarzt in Limburg/Lahn. Von 1. Juni 1973 bis 30. August 1974 Stabszahnarzt bei der Bundeswehr.

Seit September 1974 in Kempten als Assistenz Zahnarzt in zahnärztlicher Praxis tätig.

Am 6. Januar 1973 Eheschließung mit Margit Drumm, Zahnarzthelferin.

